This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

900.

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

TN
145
.C73
1842

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN

900.

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

TN
145
.C73
1842

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF WASHINGTON

900

TRAITÉ

DE

L'EXPLOITATION DES MINES

PAR

M. Ch. COMBES,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR D'EXPLOITATION
A L'ÉCOLE ROYALE DES MINES.

TOME DEUXIÈME.

LIÉGE.
DOMINIQUE AVANZO ET Cie.

TYPOGRAPHIE DE FÉLIX OUDART.

MDCCCXLV

1845

TRAITÉ

DE

L'EXPLOITATION DES MINES.

CHAPITRE VI.

CREUSEMENT, BOISAGE, CUVELAGE ET MURAILLEMENT DES PUITS.

Foncement des puits verticaux, dans les roches dures. — Lorsqu'un puits vertical est foncé dans une roche dure et non ébouleuse, le creusement s'exécute à la poudre. Les ouvriers percent en général vers le centre de l'espace à excaver un trou de mine incliné à l'horizon, au moyen duquel ils font sauter une partie de rocher, et creusent une dépression dans laquelle se réunissent les eaux qui découlent des parois. Ces coups de mines, qui sont ordinairement plus chargés que les autres, se nomment *coups de fond.* On abat ensuite la roche en se rapprochant des parois, en perçant des trous de mines inclinés du côté de la dépression centrale. L'eau et les déblais sont extraits par des ouvriers placés à la surface, au moyen d'un simple tour à manivelle et de deux seaux ayant une capacité d'un hectolitre à peu près, dont l'un monte pendant que l'autre descend. Quand le puits devient un peu profond, on substitue à l'appareil ci-dessus une machine à molettes. (*Voir plus loin les machines d'extraction.*)

Le genre de travail dont nous parlons ici doit toujours s'exécuter à l'entreprise, à raison de tant par mètre courant. Il est convenable, quand on le peut, de mettre à la charge de l'entrepreneur tous les ouvriers du dehors qui tirent l'eau et les déblais, et les versent près de l'orifice du puits ou les transportent ailleurs, suivant que cela est nécessaire. Les mineurs travaillent habituellement jour et nuit, en se

05-28-36 Meu

relevant par postes de huit heures de travail continu. Il faut surveiller exactement l'exécution du travail, sous le rapport de la verticalité des parois. Les ouvriers abandonnés à eux-mêmes ne foncent jamais un puits bien verticalement. Ils se jettent insensiblement du côté où la roche présente le moins de difficulté, et évitent le côté opposé. On doit donc vérifier une ou deux fois par semaine, si les parois sont bien verticales, si l'on n'a pas laissé des pointes de rochers saillantes dans l'excavation. Cette vérification se fait au moyen de plusieurs plombs suspendus à des ficelles attachées à l'orifice du puits et descendan jusqu'au fond. Les soins indiqués ici ne doivent jamais être négligés. On peut citer comme preuve de l'importance de cette recommandation, le fait que la plupart des anciens puits creusés à Rive-de-Gier et à Saint-Etienne sont loin d'être verticaux, et que quelques-uns des puits nouveaux ne le sont pas non plus.

Réservoirs latéraux pour recevoir les eaux des parties supérieures des puits.— Ce qui gêne le plus les ouvriers mineurs, ce sont les eaux auxquelles l'excavation ouvre une issue et qui, le plus habituellement dans les roches dures, jaillissent par des fissures existantes dans la roche. On les oblige à couler le long des parois, en appliquant contre celles-ci des planches qu'on fixe au moyen de crampons en fer fichés dans les fentes du rocher. Il n'en faut pas moins épuiser les eaux qui coulent au fond; mais on les empêche ainsi de tomber en pluie sur le dos des ouvriers. S'il arrive qu'au dessous d'un rocher dont les fissures amènent de l'eau, on rencontre un banc non fissuré, on peut, avant d'aller plus loin, essayer de boucher les fentes, ou d'arrêter les eaux par des moyens que nous indiquerons en traitant du muraillement et du boisage des puits. Mais si l'abondance de ces eaux est faible, de manière que leur extraction occasionne assez peu de dépense, on se borne à les empêcher de couler au fond du puits, pendant que les ouvriers travaillent. Il suffit pour cela de creuser dans le roc non fissuré, immédiatement au dessous des sources, un réservoir ou bassin ayant la forme d'une galerie plus ou moins longue, dont la capacité soit suffisante pour contenir toutes les eaux fournies par les fissures pendant vingt-quatre heures, *Pl. XVI, fig.* 1. Sur le devant, cette galerie est fermée par une digue ou batardeau, traversé dans le bas par un tuyau de décharge qu'on ferme au moyen d'un robinet ou d'un tampon. On conduit derrière le batardeau toutes les eaux provenant des fissures. A cet effet, on creuse sur le contour du puits une rigole en hélice dite *gargouille*, qui les recueille, et dont la partie la plus basse est mise en communication avec le réservoir, en arrière du batardeau, par un trou fait

avec un long fleuret. Si cela est nécessaire, des planches appliquées contre les parois du puits et fixées par des crampons en fer, forcent les eaux à couler dans la rigole. De cette manière, le réservoir reçoit, pendant un intervalle de temps plus ou moins long, toutes les eaux des sources supérieures qui ne gêneront plus le travail des ouvriers, en tombant au fond du puits. Lorsqu'il est rempli jusque près du niveau de la partie supérieure du batardeau, on ouvre le tuyau de décharge ; il se vide, et l'on extrait les eaux du fond du puits, immédiatement après avoir rebouché le tuyau de décharge. Lorsque la quantité d'eau affluente est considérable, ou le puits profond, on peut et l'on doit éviter de laisser couler les eaux au fond du puits, et il faut les extraire à l'aide de tonnes du niveau du réservoir. Il suffit pour cela de ménager, en avant du batardeau, ainsi que l'indique la *fig.* 1, *Pl. XVI*, une excavation inférieure à la base de celui-ci, présentant la forme d'une banquette, dont la hauteur verticale soit un peu plus grande que celle d'une tonne d'épuisement, et la largeur suffisante pour recevoir cette tonne, ainsi qu'un ouvrier chargé de la diriger dans le puits, et de la remplir d'eau, en soulevant le clapet de décharge du réservoir.

La construction du batardeau est très-simple. Entre deux cloisons en madriers posés de champ, et dont les extrémités entrent dans des entailles faites aux parois, on dame fortement de la terre argileuse. On loge dans le bas de cette digue un tuyau en fonte ou un arbre foré que l'on ferme sur le devant par un tampon en bois. On peut substituer au tampon un clapet placé en arrière, et qu'on lèverait au moyen d'une chaîne en fer, comme le clapet de vidange du fond d'une baignoire.

Quand il arrive très-peu d'eau, on peut laisser la galerie ouverte et placer tout simplement une tonne dans laquelle coulent les eaux qui arrivent par le trou de fleuret. Lorsqu'elle est pleine, on l'enlève avec la machine d'extraction ordinaire. Dans tous les cas, les réservoirs placés ainsi que nous venons de le dire, ne serviront pas seulement dans le creusement du puits ; mais leur utilité sera permanente, s'il arrive qu'on ne puisse pas contenir ultérieurement les eaux affluentes par les fissures. On épuiserait alors directement les eaux recueillies dans le réservoir, au moyen d'une pompe dont le tuyau aspirateur infléchi traverserait le batardeau, ou passerait au dessus, au lieu de les laisser tomber au fond du puits.

Exemples de puits dans le terrain houiller.— Le puits, dit puits Dolomieu, à Roche-la-Molière (Loire), avait 84 mètres de profondeur jusqu'à la couche de houille exploitée. On l'approfondit de 21 mètres

pour prendre à ce niveau une galerie de traverse qui devait rejoindre la couche sur l'aval pendage, à 70 mètres de distance horizontale. Deux machines à vapeur étaient placées sur le puits. La première faisait mouvoir la tige d'une grande pompe qui puisait l'eau dans un réservoir, au niveau de la couche, c'est-à-dire à 84 mètres. La seconde était la machine d'extraction, au moyen de laquelle on éleva du fond les déblais et les eaux qui arrivaient dans la partie du puits inférieure à la couche. Ces eaux étaient très-abondantes, malgré l'existence du réservoir supérieur, par suite des nombreuses fissures dont la roche est traversée. La section horizontale du puits était une ellipse dont les diamètres avaient à peu près 3 mètres et 4 mètres. La roche était un grès houiller dur. Les ouvriers mineurs ne travaillaient que la nuit, attendu que le puits était occupé, pendant le jour, par l'extraction de la houille. Cette circonstance accrut la dépense, à cause de la nécessité d'enlever, au commencement du poste, les eaux qui s'étaient réunies, pendant le jour, au fond du puits.

	fr.	c.
L'entrepreneur reçut pour les deux premiers mètres, par mètre	125	»
Les frais de machiniste furent par mètre, de	45	»
La valeur de la houille brûlée	36	»
L'usure des bennes et des cordes	25	»
Le forgeage et l'entretien des outils	9	»
Dépense totale par mètre	240	»
Les 17 mètres suivants furent payés à 150 fr., ci	150	»
Salaire du machiniste, houille, bennes et cordes, outils, par mètre	115	»
Total par mètre	265	»
Pour les deux derniers mètres on paya à l'entrepreneur, par mètre	175	»
Salaire du machiniste, etc.	115	»
Total par mètre	290	»

Voici les frais que l'entrepreneur eut à supporter pour les deux derniers mètres:

	fr.	c.
65 journées de mineur, à 3 fr. 25 c.	211	25
28 journées de receveur de bennes, à 2 fr.	56	»
25 kilogrammes de poudre, à 2 fr. 75 c.	68	75
Huile, soufre et papier	6	»
Total	342	»
Et pour un mètre	171	»

Le temps employé pour approfondir le puits d'un mètre fut, vers la fin du creusement, de vingt-deux jours à peu près. Si on eût travaillé jour et nuit par poste de huit heures, il aurait suffi de sept ou huit jours au plus par mètre courant. Les difficultés étaient très-considérables.

Dans la même localité, un autre puits fut foncé à partir de la même couche, pour en rejoindre une autre parallèle, située 50 mètres au dessous. Ici l'opération était plus facile, parce qu'il y avait beaucoup moins d'eau au fond du puits qui était en amont de celui dont nous venons de parler, et que ce puits n'avait lui-même que 30 mètres de profondeur verticale. Les déblais étaient extraits par des chevaux, au moyen d'une machine à molettes. Il arriva une quantité d'eau notable dans le puits en creusement, quantité qui n'a pas été jaugée.

	fr.	c.
L'entrepreneur reçut par mètre.	100	»
L'entretien des chevaux employés à l'extraction, coûta par mètre.	30	»
L'entretien des bennes et des cordes.	15	»
Celui des outils.	6	»
Total	151	»

Voici les frais à la charge de l'entrepreneur.

	fr.	c.
15 journées de mineur, à 3 fr.	45	»
5 — de receveur de bennes, à 2 fr.	10	»
5 — de toucheur de chevaux, à 1 fr.	5	»
7k, 50 de poudre, à 2 fr. 75 c.	20	625
Huile, soufre et papier.	6	»
Total par mètre. . . .	86	625

Le puits était circulaire et de 3 mètres de diamètre : il fallut deux jours et demi pour le foncer d'un mètre, en employant au fond six ouvriers par jour, répartis en postes de huit heures. Dans la même localité on a payé jusqu'à 400 fr. par mètre de creusement, à l'entrepreneur, pour foncer un puits dans un banc de grès rempli de gros poudingues, excessivement dur, et dans lequel il arrivait une quantité d'eau très-considérable, par des fissures qui étaient presque verticales. Les frais totaux s'élevaient certainement alors à plus de 1000 fr. par mètre.

Lorsque le terrain houiller est en grande partie formé de bancs de schistes, le creusement coûte beaucoup moins cher et peut être exécuté à raison de 45, 50 à 60 fr. le mètre courant, sur un diamètre

de $2^m,50$ à 3 mètres, jusqu'à des profondeurs assez considérables (les chevaux et l'entretien des outils demeurant seuls à la charge du propriétaire de la mine). Mais il arrive souvent alors, que la roche doit être soutenue par un boisage ou un muraillement.

Revêtements des puits. Boisage. — Le boisage et le muraillement des puits sont destinés, ou simplement à soutenir des parois ébouleuses, ou bien tout à la fois à soutenir les parois et à empêcher les filtrations quelquefois très-abondantes d'eaux. Nous traiterons en premier lieu du boisage simplement destiné à soutenir des parois qui manquent de solidité, et nous supposerons d'abord que la roche ne soit pas dépourvue de consistance et immédiatement ébouleuse.

Boisage des puits circulaires peu profonds et d'un petit diamètre. — Dans les puits circulaires d'un petit diamètre, et d'une petite profondeur, $0^m,30$ à $1^m,70$ de diamètre et 30 à 45 mètres de profondeur au plus, on peut employer simplement des cercles en frêne, en chêne ou en châtaignier. Ces cercles sont posés à des distances variables les uns des autres, et maintenus en place par la pression qu'exercent sur la face tournée du côté des parois, des bois de garnissage logés entre eux et le terrain. Les bois de garnissage sont des rondins de 3 à 6 centimètres de diamètre. Les petits puits que l'on creuse pour l'exploitation des minerais de fer, et autres rapprochés de la surface, sont souvent boisés de cette manière. Ce boisage doit être rejeté comme insuffisant, pour peu que la poussée du terrain soit considérable ou que les dimensions des puits soient un peu grandes.

Boisage des puits rectangulaires. — Les puits boisés de grandes dimensions sont le plus souvent carrés ou rectangulaires. Le boisage consiste alors en cadres rectangulaires derrière lesquels on met des bois de garnissage, planches, croûtes, madriers, ou bois refendus longitudinalement. Les cadres sont formés de quatre pièces de bois, dont les deux plus courtes sont posées par leurs extrémités sur les deux plus longues, avec entaillement à mi-bois, *fig.* 2, *Pl. XVI*; ils se posent en descendant, à 1 mètre ou $0^m,75$ de distance les uns des autres, quelquefois même plus rapprochés, suivant la nature du terrain : on place en arrière, des bois de garnissage que l'on serre exactement entre leur contour extérieur et le terrain, au moyen de coins dont la pression suffit pour maintenir provisoirement les cadres en place. De distance en distance, et sur les points où la roche est le plus solide, on pose un cadre sur deux pièces de bois dites *porteurs*, appliquées contre les côtés les plus courts de la section rectangulaire du puits, et dont les extrémités sont posées dans des entailles prati-

quées pour les recevoir. Quand on a ainsi établi deux porteurs et un cadre par dessus, on place des poteaux de bois, dans les angles du boisage, entre deux cadres consécutifs, de sorte que tous les cadres compris entre les porteurs supérieurs à ceux que l'on vient d'établir, et ces derniers, qui n'étaient maintenus en place que par le frottement résultant de la pression du terrain, ou des coins et bois de garnissage, reposent sur les porteurs inférieurs. Les cadres du boisage se trouvent ainsi reliés entre eux et supportés par des pièces qui pénètrent dans les bancs les plus solides de la roche. Les porteurs sont établis à des distances plus ou moins grandes, qui n'excèdent pas en général l'intervalle de quatre à cinq cadres consécutifs, et dans les assises les plus solides du terrain traversé. La *fig.* 3, *Pl. XVI*, représente en perspective deux pièces porteuses et deux cadres consécutifs avec poteaux dans les angles. Ce mode est employé lorsque la roche n'est pas très-ébouleuse, sans être cependant fort dure à entailler. Si la roche est assez peu consistante pour que les entailles dans lesquelles devraient reposer les porteurs manquassent de solidité, on établit à l'orifice du puits un premier cadre dont les deux côtés inférieurs se prolongent assez loin sur le sol; les deux autres côtés sont posés dessus. On pose ensuite, à mesure que l'on descend, des cadres qui remplissent exactement la section du puits, et l'on relie les pièces inférieures de chaque cadre, à celle du cadre immédiatement supérieur, au moyen de petits tirants en bois dont l'équarrissage dépend du poids du boisage, cloués ou chevillés contre les cadres. On chasse les bois de garnissage par derrière; les cadres sont ainsi suspendus en quelque sorte à celui qui se trouve à l'orifice du puits. Ils sont, en outre, maintenus par la pression des bois de garnissage qu'on a logés entre eux et le terrain. Néanmoins, de distance en distance et dans les parties où la roche se trouve plus solide, on place des pièces porteuses, dont les extrémités reposent dans des entailles, et on établit des poteaux verticaux dans les angles, allant d'un cadre à l'autre, à partir de celui qui repose immédiatement sur les porteurs. Les pièces verticales, tirants et poteaux, rendent ainsi solidaires tous les cadres du boisage.

Dans le mode de boisage que nous venons de décrire, les cadres se posent à mesure du creusement, et il suffit que la roche puisse se soutenir sans éboulement sur une hauteur égale à la distance de deux cadres consécutifs. Quand elle peut se soutenir sans éboulement sur une hauteur plus considérable et égale à la distance de cinq ou six cadres, on creuse le puits sur toute cette hauteur, et l'on pose les cadres en commençant par le fond de l'espace excavé, et en remontant. On

établit au fond, deux porteurs reposant par leurs extrémités dans des entailles, et un cadre assis directement sur ces porteurs. Les cadres supérieurs ont les dimensions exactes du puits, et portent tous sur celui du bas, au moyen des poteaux verticaux placés dans les angles et allant d'un cadre à l'autre. On a ainsi de distance en distance, des cadres porteurs qui supportent cinq ou six cadres ordinaires. On place d'ailleurs des bois de garnissage plus ou moins résistants et plus ou moins rapprochés, suivant la nature du terrain traversé.

Position des puits rectangulaires dans les terrains stratifiés, à couches inclinées. — Lorsque des excavations sont creusées dans des terrains stratifiés à couches inclinées, la poussée du terrain est généralement fort inégale sur les parois de ces excavations; elle est le plus souvent très-forte sur celle des parois qui est tournée du côté de l'amont pendage, ou affleurement des couches, nulle ou très-petite sur la face opposée, et moyennement grande sur les deux autres faces placées à peu près perpendiculairement à la ligne de direction. Quand on pratique des puits rectangulaires dans ces terrains, on doit les orienter de manière que les deux côtés courts soient dans le sens de la direction, et les deux autres dans le sens de la ligne de plus grande pente des couches; de cette façon, les pièces les plus courtes du boisage sont appliquées sur les parois où la poussée est la plus considérable. On renforce ensuite les pièces longues, si cela est nécessaire, par des moises horizontales parallèles aux côtés courts, échancrées en forme de croissant à leurs extrémités, comme l'indique la *fig.* 27, *Pl. XV*, et que l'on chasse avec force entre les deux pièces longues. L'ensemble de ces moises disposées dans un même plan vertical, divise le puits en deux compartiments, souvent même, le puits est divisé en trois compartiments, dont l'un contient une ligne d'échelles pour la circulation des ouvriers, ou des pompes d'épuisement, etc., tandis que les deux autres sont destinés au passage des tonnes d'extraction. Lorsque le puits est consacré à ce dernier usage, il est indispensable, pour empêcher les tonnes de s'accrocher, en montant, aux saillies des cadres ou des moises dont il a été parlé en dernier lieu, ou de se poser sur elles, en descendant, de clouer des bois de garnissage ou *coulants*, contre les faces intérieures des cadres et contre les moises. Ces coulants sont des solives de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, capables de résister aux chocs des tonnes, et dont l'ensemble forme des cloisons à claire-voie. Ils servent en outre à relier entre eux tous les cadres et consolident le boisage. Les *fig.* 4, 5 et 6, *Pl. XVI*, représentent un puits rectangulaire ainsi divisé en trois compartiments,

dont l'un contient les échelles inclinées pour l'entrée et la sortie des ouvriers. Les solives ou coulants écartés les uns des autres, sont remplacés par des madriers jointifs formant une cloison pleine, lorsqu'il est nécessaire d'isoler complétement, pour l'aérage, les deux compartiments du puits.

L'exécution des puits verticaux ,dans les terrains qui ne sont pas absolument sans consistance, ne présente, comme on le voit, aucune difficulté; un point important est de faire en sorte que les angles des cadres consécutifs soient exactement dans une même ligne verticale, ce qui exige du soin dans la pose des bois que l'on règle à l'aide de fils à plomb suspendus aux angles du cadre supérieur. La distance que l'on laisse entre les cadres ne peut pas être fixée en général: elle dépend de la nature de la roche. Les cadres doivent être contigus quand la poussée du terrain est très-considérable. Habituellement ils sont à 0m, 75 ou 1 mètre de distance l'un de l'autre. Le même mode de boisage s'applique aux bancs ébouleux ou du moins peu solides, que l'on peut rencontrer au dessous de roches solides qu'un puits aurait déjà traversées. On établit alors, au besoin, dans les bancs supérieurs, des pièces horizontales encastrées par leurs extrémités dans la roche, auxquelles on suspend les cadres successifs, jusqu'à ce que l'on soit arrivé à des assises inférieures capables de recevoir des pièces porteuses destinées à soutenir tout le boisage. Lorsque les parois du puits ne sont pas toutes ébouleuses, qu'une ou deux seulement manquent de solidité, on substitue aux cadres des pièces isolées appliquées contre les parois ébouleuses et encastrées dans les parois solides.

Boisage des puits inclinés. — Dans les puits inclinés, le plan des cadres doit être perpendiculaire à l'axe du puits. Quand ils servent à l'extraction, au moyen de tonnes qui glissent sur le mur du puits, il est nécessaire d'établir sur ce mur un plancher de madriers cloués sur les semelles des cadres, ou, si le mur est solide, sur des traverses établies *ad hoc*, qui reposent par leurs extrémités dans des entailles pratiquées dans la roche, ou sont appuyées contre les pièces du boisage des parois latérales. Au reste ce mode d'extraction est très-vicieux, par ce que les bennes, les cordes et le plancher s'usent très-rapidement par le frottement, et sont d'un entretien dispendieux. L'extraction, dans les puits inclinés, s'opère beaucoup plus économiquement à l'aide de tonnes garnies de roulettes qui circulent sur des lignes de rails en fer ou en bois, en même temps que les câbles sont supportés par des rouleaux établis entre les lignes de rails.

Cloisons établies pour la circulation de l'air. — Nous avons dit que l'on divisait souvent un puits en deux ou même trois comparti- Brattice

ments distincts par des coulants cloués contre des moises horizontales établies perpendiculairement aux côtés longs des cadres de boisage, et que, dans certains cas, les besoins de l'aérage exigeaient que l'on substituât une cloison pleine et imperméable à l'air, aux coulants placés à distance les uns des autres. Ces sortes de cloisons sont formées de madriers jointifs de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, rabotés sur leurs tranches contiguës, ou même bouvetés, et cloués contre des moises dressées sur la face où les madriers sont appliqués.

Les moises sont fixées aux cadres dans les puits boisés, encastrées par leurs extrémités dans la maçonnerie ou dans la roche, quand les puits sont revêtus d'un muraillement, ou creusés dans un roc solide. Dans ce dernier cas, si le roc est fort dur, les entailles à faire reviendraient à un prix élevé, et il est plus économique de fixer contre les parois du puits, au moyen de crampons en fer scellés dans le roc, deux systèmes de longuerines allant depuis la surface jusqu'au fond du puits, sur lesquelles on cloue des planches jointives, posées de champ et formant une cloison continue, sur laquelle on applique d'autres planches jointives posées debout, de façon à ce que les joints des deux cloisons superposées soient rectangulaires l'un sur l'autres. On peut substituer à la cloison inférieure, des madriers distants les uns des autres et cloués contre les longuerines: la cloison est alors simple. Dans tous les cas, on garnit avec des étoupes goudronnées, ou de la mousse, les intervalles compris entre les extrémités des planches et la roche, ainsi que les vides restants dans les joints des planches contiguës.

Voici le devis d'une cloison semblable établie dans le puits des Flaches, à Rive-de-Gier, profond de 300 mètres, et de 3 mètres de diamètre environ:

	fr.	c.
600 mètres courants de bois de sapin équarris sur une face, ou 1800 pieds à 25 c. le pied.	450	»
450 toises planches dites bâtardes (1) à 8 fr. (il faut 3 toises pour 1 toise courante de gaîne).	3600	»
150 plateaux de 4 centimètres d'épaisseur, ou 36 toises à 12 fr.	432	»
750 livres de clous (5 livres par toise), à 50 c. . . .	375	»
Dressage des planches, 100 jours à 3 fr.	300	»
Crampons en fer.	200	»
Construction de la gaîne, 190 jours à 4 fr.	760	»
Mousse et menus frais	200	»
Total. . . .	6317	»

(1) Les planches dites bâtardes ont à peu près 22 millimètres d'épaisseur.

Les méthodes de boisage décrites précédemment ne pourraient s'appliquer aux terrains très-ébouleux et semi-fluides. Avant de décrire les procédés employés dans ce dernier cas, nous traiterons des revêtements destinés à contenir les eaux en même temps qu'à soutenir les parois, et qui portent le nom de *cuvelages*.

Cuvelage des puits verticaux creusés dans des terrains consistants.

En Belgique et dans le nord de la France, les cuvelages sont en bois de chêne; dans les mines de houille du nord de l'Angleterre, ils sont construits en bois et souvent aussi en fonte de fer; enfin on construit, dans divers comtés de l'Angleterre, des cuvelages en maçonnerie de briques liées par un mortier très-hydraulique, ou mieux du ciment romain.

Conditions nécessaires pour qu'un cuvelage contienne les eaux. Moyen de joindre les assises fondamentales du cuvelage à la roche.— Quels que soient au reste les matériaux employés, il est indispensable que la base du cuvelage soit établie dans les bancs imperméables inférieurs aux couches aquifères, dont on veut contenir les eaux. Il est nécessaire que cette base soit fixée d'une manière invariable, et qu'elle soit jointe à la roche environnante, de façon que les eaux ne puissent pas passer entre deux. Il faut de plus, ou que le cuvelage s'élève dans le puits jusqu'à un niveau supérieur au niveau *hydrostatique* des eaux contenues dans les bancs aquifères, ou bien, s'il se termine à un niveau plus bas, dans des couches imperméables supérieures aux couches fissurées et perméables, qu'il y ait entre les assises supérieures du cuvelage et la roche une liaison parfaite et étranche, comme celle qui existe pour les assises inférieures du cuvelage. La condition la plus importante est précisément cette jonction parfaite des assises inférieure et supérieure du cuvelage avec la roche. Les moyens de l'obtenir sont partout les mêmes, quels que soient d'ailleurs les matériaux avec lesquels le cuvelage lui-même est construit. L'assise fondamentale est toujours en bois: elle est ou circulaire, ou polygonale à 10, 12 ou 15 côtés, suivant que le diamètre du puits est plus ou moins grand. L'espace compris entre son contour extérieur et la roche est rempli avec des coins de bois chassés jusqu'au refus, lesquels déterminent une pression assez considérable pour que l'assise en bois soit maintenue dans une position exactement invariable, et qui, en même temps, moyennant certaines précautions qui seront indiquées, établissent entre la roche et le contour

de l'assise une jonction si parfaite que l'eau ne peut absolument point s'y faire jour. Quand le cuvelage ne monte pas à une hauteur plus grande que le niveau *hydrostatique* des eaux contenues dans les bancs fissurés, une assise semblable termine le cuvelage à la partie supérieure. Elle prévient de même le passage des eaux par derrière et par dessus le cuvelage.

Description du terrain aquifère supérieur au terrain houiller, dans le département du Nord.— La *fig.* 7, *Pl. XVI*, réprésente la coupe du terrain crétacé supérieur au terrain houiller, dans le département du Nord. L'épaisseur de ce terrain varie de 30 à 100 et même 150 mètres. Elle est assez souvent de 60 mètres, comme l'indique la *fig.* 7.

Les sables que l'on trouve immédiatement au dessous de la terre végétale ne sont désagrégés que tout près de la surface, et deviennent consistants à une petite profondeur. Les lits alternatifs de marnes avec ou sans silex, et d'argiles qui viennent au dessous de ces sables, ne sont pas non plus ébouleux. Ils se laissent entamer au pic, et se soutiennent facilement sur une assez grande hauteur, moyennant quelques étais de bois faciles à placer. Le banc d'argiles très-puissant qui succède aux couches alternatives de marnes et d'argiles, est tout à fait imperméable aux eaux, et n'est séparé du terrain houiller que par un conglomérat appelé *tourtia* par les mineurs du pays, lequel est ordinairement solide et non aquifère, mais qui pourtant est remplacé dans certains endroits, en tout ou en partie, par un sable entièrement désagrégé et pénétré d'eau. Lorsque le tourtia est solide et non aquifère, ce qui est le cas le plus ordinaire, les assises fondamentales du cuvelage sont établies dans les couches inférieures de la craie, quand celles-ci ne sont point fendillées et ne contiennent pas d'eau, ou dans la partie supérieure des argiles ou *dièves* vertes, qui arrêtent toutes les eaux supérieures. Quand le tourtia solide est remplacé par des sables désagrégés et pénétrés d'eau, il y a un second cuvelage à établir dans ces sables, cuvelage dont les assises fondamentales doivent être établies dans le terrain houiller lui-même, et les assises supérieures dans les *dièves* qui recouvrent les sables. L'établissement de ce second cuvelage présente plus de difficultés que le premier, à cause de la nature semi-fluide des sables, et de l'abondance des eaux dont ils sont pénétrés. Nous exposerons d'abord la méthode usitée pour le foncement des puits, dans le cas où le tourtia est solide et ne donne pas d'eaux.

Exécution des cuvelages dans le département du Nord. — La section intérieure du puits cuvelé est ordinairement un décagone régu-

lier dont le diamètre est d'environ 3 mètres (diamètre du cercle circonscrit). Le cuvelage est formé de cadres décagones posés l'un sur l'autre, bien dressés au rabot sur toutes leurs faces. Les côtés d'un même cadre ne sont point assemblés entre eux, mais simplement juxtaposés. La hauteur d'un cadre dans le sens vertical varie de 0m,25 à 0m,50, suivant les dimensions des arbres que l'on a à sa disposition. Quant à l'épaisseur, elle doit varier avec la pression des eaux et par conséquent avec la profondeur où le cadre doit être placé. La règle suivie dans le département du Nord, et fondée sur l'expérience, est la suivante.

L'épaisseur des pièces de bois est:

De 0 à 15 mètres de profondeur.	. . . . .	0m,11
De 15 à 30 —	. . . . .	0m,12
De 30 à 40 —	. . . . .	0m,13
De 40 à 50 —	. . . . .	0m,14
De 50 à 55 —	. . . . .	0m,15
De 55 à 60 —	. . . . .	0m,16

Les bois doivent être tout à fait sains, sans nœuds ni défauts, et bien débarrassés de l'aubier. Les cadres sont dressés au jour, assemblés par les menuisiers sur une plate-forme, numérotés et répérés, pièce à pièce, au moyen de deux chevilles en bois implantées sur la face supérieure de chaque pièce et de deux trous correspondants forés sur la face inférieure. Les cadres seront placés l'un sur l'autre dans le puits, suivant le même ordre où ils ont été assemblés au jour.

Les pièces des cadres formant les assises fondamentales du cuvelage ont la même forme que les autres, mais leur hauteur est de 0m,20 ou 0m, 22, et leur épaisseur, toujours beaucoup plus forte que celle des pièces du cuvelage, varie de 0m, 22 à 0m, 26, suivant qu'elles sont établies à 30 mètres ou 60 mètres de profondeur. Pour des profondeurs plus considérables, on donnerait une épaisseur encore plus forte.

Les bois de chêne employés proviennent d'arbres abattus depuis trois ou quatre mois seulement, et sont par conséquent encore verts.

M. Turbert, ancien élève de l'école des mines, estime qu'il faut 1. m. cube, 7 de bois de chêne brut, pour obtenir 1m.cube de bois façonné et débité en pièces de cuvelage. Le mètre cube de bois brut coûte environ 90 fr. dans le département du Nord, de sorte que le prix du bois nécessaire pour la confection d'un mètre cube de pièces

de cuvelage est de 153 fr. à peu près. D'après le même ingénieur, il en coûte à peu près 7 fr. 50 c. par mètre cube, pour faire débiter les arbres en plateaux d'épaisseur convenable, et les menuisiers sont payés à raison de 1 fr. par mètre courant de cuvelage sur chaque centimètre d'épaisseur.

Avant de commencer le creusement, on établit d'abord sur le sol deux poutres de 12 mètres de long environ sur 0^m, 30 d'équarrissage, disposées parallèlement et à égale distance de l'axe du puits. Sur ces deux poutres, on en pose deux autres perpendiculairement aux premières, à égale distance de l'axe du puits, de sorte que le vide intérieur existant entre ces quatre pièces est un carré ou un rectangle dont le centre est sur le prolongement de l'axe du puits, et dont les côtés doivent avoir des dimensions suffisantes pour renfermer le vide intérieur du puits, l'épaisseur du cuvelage, et en outre un espace libre de 5 à 6 centimètres de largeur sur tout le contour. Pour un puits cuvelé en décagone de 2^m, 90 de diamètre, les dimensions du rectangle sont d'environ 3^m, 15 et 3 mètres. Sous les parties des poutres qui se prolongent au delà des points de croisement, on peut glisser des planches, pour élargir l'espace par lequel ce système s'appuie sur le sol, quand on prévoit que les sables seront tout à fait désagrégés et presque coulants.

On commence le creusement dans l'intérieur du rectangle, on établit des cadres provisoires en bois blanc, que l'on suspend à l'aide de solives ou planches en bois au contour intérieur du rectangle formé par les poutres posées sur le sol, on place des planches jointives derrière ces cadres, et l'on arrive ainsi sans difficulté jusqu'aux sables agrégés formant un terrain solide qui peut être excavé sans boisage. Quand on a pénétré de 2 ou 3 mètres dans ce dernier terrain, on procède au cuvelage de la partie supérieure du puits.

On fixe à cet effet un décagone modèle dans l'intérieur du rectangle formé par les quatre poutres qui reposent sur le sol. Aux angles de ce décagone on suspend des fils à plomb qui descendent jusque tout près du fond du puits. Les ouvriers dressent au pic le fond du puits suivant une surface horizontale, en ménageant un puisard dans le centre, et taillent les parois verticales suivant le contour d'un décagone, de manière à pouvoir contenir un cadre ou *trousse* dont les pièces auront 0^m, 22 d'épaisseur, et à laisser sur le contour extérieur de cette trousse un vide de 0^m, 06 à 0^m, 07 de large, qui sera rempli par des coins. L'on dresse bien de niveau, avec un soin particulier, la partie du terrain sur laquelle reposera la trousse. On met celle-ci en place de façon que les angles correspondent exactement aux fils

à plomb. On cale chacune des pièces qui la composent, avec des coins de bois enfoncés entre le terrain et la face extérieure, au milieu et près des extrémités. On procède ensuite au serrage, en remplissant tout l'espace qui demeure vide entre la trousse et le terrain avec des coins de bois enfoncés jusqu'au refus. Cette opération s'appelle *colletage*. Les coins dont on fait usage pour cela, sont en bois blanc bien sec. Ils ont à peu près 0m, 22 de longueur, 0m, 08 de largeur et 0m, 02 d'épaisseur à la tête. Ils sont placés les premiers, la tête en bas et le tranchant en haut, les seconds, la tête en haut. Quand tout l'espace a été garni de coins semblables, de façon qu'il soit devenu impossible d'en enfoncer de nouveaux, la trousse se trouve très-fortement serrée contre le terrain; ses joints verticaux sont devenus imperméables: les coins ne forment cependant pas une masse assez compacte, pour que l'eau ne puisse pas passer entre les coins, ou entre ceux-ci et le terrain. On recèpe alors avec un ciseau les têtes des coins, de façon à ce que le dessus de l'espace présente une surface horizontale. On dresse au rabot, et l'on met exactement de niveau la face supérieure de la trousse colletée, dont les pièces ont été, en général, légèrement déversées en dedans par le serrage, et l'on pose sur la trousse ainsi dressée, une seconde trousse, dite trousse *picotée*, qui doit être jointe à la roche avec plus de soin encore que la trousse *colletée*. Celle-ci n'est que l'assise, le plan de pose de l'autre.

Les pièces de la trousse picotée ont d'ailleurs les mêmes dimensions et sont mises en place de la même manière que celles de la trousse inférieure. Derrière chacune de ces pièces, on applique ensuite une planche de bois blanc bien sec, appelée *lambourde*, de 0m,02 d'épaisseur, d'une hauteur égale à celle de la trousse, 0m, 22. Les dix planches semblables appliquées contre les faces externes du cadre et se touchant par leurs extrémités, sont fixées d'abord par des cales provisoires en bois, enfoncées entre elles et le terrain. L'espace vide est rempli avec de la mousse bien propre, dégagée de sable et de particules terreuses, qui est enfoncée avec des palettes en bois et fortement tassée. Les cales provisoires en bois sont ôtées et remplacées par de la mousse.

Cela fait on écarte les lambourdes des pièces du cadre, en enfonçant entre les unes et les autres, vers les extrémités, des coins de bois blanc. L'espace vide est rempli de coins semblables. Le serrage ainsi obtenu écarte la lambourde de plus en plus, comprime la mousse et la force à pénétrer dans toutes les cavités de la roche contiguë. On enfonce des coins de bois blanc, jusqu'à ce qu'il soit impossible d'en placer d'autres. On recèpe de niveau avec un ciseau, les têtes des

coins et l'on procède au *picotage* proprement dit. Pour cela, on a des coins aigus en bois blanc bien sec, dont la longueur est de 0m, 20 et dont la tête est un carré de 0m, 016 de côté. On prépare l'entrée à un picot, au milieu de l'espace déjà rempli par les coins, en enfonçant au milieu de ceux-ci, des aiguilles en fer, dites *agrafes*, à picoter. Ces aiguilles sont des pyramides quadrangulaires de 0m, 16 de hauteur, et dont la base, est un carré de 0m, 03 de côté environ. Les unes sont fixées à un manche un peu courbe, dont l'axe est à peu près perpendiculaire à celui de l'aiguille, *fig.* 8, *Pl. XVI.* elles sont appelées agrafes courbes. Les autres n'ont point de manche, mais la partie pyramidale est prolongée par une partie prismatique à basse carrée de 0m, 10 de longueur, *fig.* 9, *Pl. XVI.* On se sert d'abord de l'agrafe courbe, qui se retire avec un peu plus de facilité que l'autre ; aussitôt qu'elle est retirée, on remplit l'espace vide que son introduction a déterminé, par un picot en bois blanc. On garnit ainsi de picots tout l'espace déjà rempli de coins. Lorsque les picots en bois blanc n'entrent plus que difficilement et d'une petite quantité, on leur substitue d'autres picots de même dimension, mais qui sont en bois de chêne parfaitement sec, dont la dureté est beaucoup plus grande. L'opération n'est terminée que lorsque les agrafes ne peuvent plus pénétrer dans la masse des coins. Les lambourdes sont alors écartées de 4 à 5 centimètres du contour externe du cuvelage, et la mousse est réduite à une épaisseur extrêmement petite. Elle est à peine visible.

On recèpe de niveau les têtes des derniers picots. On dresse au rabot, sur la face supérieure et sur les faces internes, les pièces de la trousse picotée, sur laquelle on pose les cadres du cuvelage ; à mesure que ceux-ci sont mis en place, on extrait, si c'est possible le boisage provisoire, et l'on remplit l'espace compris entre le cuvelage et le terrain, avec un mortier formé le plus ordinairement de 1/3 de chaux grasse en volume, de 1/3 de cendres de houille ou mâchefer, et 1/3 de tuileau ou brique pilée. Un bon béton fait avec de la chaux hydraulique et du sable quartzeux serait encore préférable.

Le cuvelage étant ainsi élevé jusqu'au jour, on procède au calfatage des joints horizontaux. Ce calfatage se fait avec des étoupes goudronnées que l'on enfonce dans les joints avec un brondissoir, espèce de ciseau, qui, au lieu d'être terminé par un biseau tranchant, est terminé par une partie plane de 2 à 3 millimètres d'épaisseur. Le calfatage s'exécute en deux fois, une première fois en descendant et l'autre en remontant ; il ne peut pas être très-bien fait, ni très-serré, parce que les cadres supérieurs du cuvelage, ne sont pas invariable-

ment joints au sol. Si la pression des eaux d'infiltration était un peu considérable, il faudrait prolonger le cuvelage jusqu'à une certaine hauteur au dessus du sol, ou mieux, le surmonter d'une maçonnerie dont le poids déterminerait le serrage des joints horizontaux, et maintiendrait les étoupes du calfatage en place.

Les deux opérations du colletage et du picotage, doivent être exécutées rapidement et symétriquement, tout autour des trousses. En général, six hommes sont au fond du puits, cinq sont occupés à enfoncer les coins, chacun d'eux ayant deux des côtés du décagone à garnir; le sixième donne aux autres les matériaux qui arrivent du jour. Ces six hommes travaillent cinq heures consécutives, et le picotage d'une trousse est habituellement terminée en vingt-quatre heures.

On estime qu'un picotage absorbe, pour un puits décagonal de 2m,90 de diamètre, 1500 coins de bois blanc, 3000 picots de bois blanc et 5000 picots en chêne.

Il faut à peu près 1 mètre cube de bois blanc pour faire 1000 coins.

	fr.	c.
Le prix de ce bois, dans le département du Nord est d'environ.	32	
La façon coûte à peu près.	6	»
Prix de 1000 coins.	38	»

Le mille de picots en chêne ou en bois blanc, exige 0m.cube,15 de bois, et 3 fr. de façon. Ainsi les prix sont, pour le millier de picots en bois de chêne :

	fr.	c.
0, 15 mètre cube à 70 fr.	10	50
Façon.	3	»
Total.	13	50

Pour le millier de picots en bois blanc.

	fr.	c.
0, 15 mètre cube à 32 fr.	4	80
Façon.	3	»
Total.	7	80

Les coins de bois blanc employés pour le colletage des trousses, n'ont pas de dimensions fixes et régulières, comme ceux qui sont employés pour les trousses picotées. Les trousses colletées ne sont réellement que des cadres porteurs : il suffit de les serrer assez contre le terrain,

pour qu'elles soient inébranlables ; mais il est peu important que la jonction avec le terrain soit parfaite et imperméable aux eaux.

Le cuvelage de la partie du puits voisine de l'orifice étant terminé, on continue le creusement dans la couche d'argile qui est au dessous des sables superficiels. Arrivé à une petite profondeur, dans cette couche, on y établit une trousse colletée et une trousse picotée, sur lesquelles on élève un tronçon de cuvelage qui doit rejoindre la trousse colletée supérieure. L'opération se fait de la même manière que la première. Lorsqu'il ne reste plus qu'une distance égale à la hauteur d'un cadre, en dessous de la trousse colletée qui forme l'assise du cuvelage précédemment exécuté, on taille les pièces du cadre qui doit remplir l'intervalle vide que l'on a mesuré avec soin. Ces pièces se posent d'ailleurs à la manière ordinaire, sauf la dernière, qui ferme le cadre et forme clef. Pour mettre celle-ci en place on enfonce sur sa face interne, dans son épaisseur, deux vis à poignée, qui servent à la tirer à soi, après qu'on l'a introduite obliquement dans l'ouverture qu'elle doit fermer.

Avant de poser ce dernier cadre, on serre tous les joints horizontaux du cuvelage inférieur, au moyen de verrins ou vis de pression, disposées de la manière suivante : une vis à filets carrés, dont la longueur est un peu moindre que la distance du dernier cadre de cuvelage à la trousse colletée supérieure, se termine par une tête carrée de 0m 10 de côté. On appuie cette vis, par la tête, contre le dessous de la trousse colletée ; elle est munie d'un écrou, et on engage la partie inférieure de la vis, en dessous de l'écrou, dans un manchon creux qui pose sur la face supérieure du dernier cadre ; en faisant ensuite descendre l'écrou le long de la vis, tandis qu'on empêche celle-ci de tourner, cet écrou vient presser, par l'intermédiaire du manchon, la face supérieure du dernier cadre. On peut ainsi, au moyen de plusieurs vis de pression, serrer tous les joints horizontaux du cuvelage, et c'est après ce serrage que l'on prend les dimensions du cadre qui doit faire clef et remplir l'intervalle demeuré vide en dessous de la trousse colletée. On calfate avec des étoupes, après la pose de la clef.

On continue ensuite le creusement du puits. Si les terrains sont ébouleux, on pose de distance en distance, des trousses colletées, sur lesquelles on élève des tronçons de cuvelage ; et avant de descendre plus bas, on relie les pièces de la trousse colletée la plus basse à celles des trousses colletées et picotées qui sont à la tête des sables verts, au moyen de longuerines en bois ou de tirants en fer, fixés à l'aide de forts clous, contre les unes et les autres, de façon

que les trousses colletées qui sont placées dans un terrain peu solide, soient suspendues aux trousses supérieures colletées et picotées dans un terrain solide. Quand on est ainsi arrivé dans un terrain ferme et solide (dans le Nord, les marnes blanches sont habituellement résistantes, et en outre, il y a souvent un *fort niveau*, à la séparation de l'argile bleue supérieure et des marnes blanches), on y creuse le puits sur une hauteur de 1 à 2 mètres, l'on établit une trousse colletée, et par dessus, une ou plusieurs trousses soigneusement picotées. On cuvèle la dernière portion du puits. On calfate tous les joints horizontaux, depuis le cuvelage supérieur établi dans un terrain solide, et l'on peut, après cela, supprimer tous les tirants en bois ou en fer, parce que les pièces de cuvelage reposent toutes sur les trousses picotées établies dans le terrain solide inférieur.

On continue de la même manière le creusement, établissant de distance en distance des trousses colletées, si le terrain manque de solidité, et mettant à profit les bancs de roches consistantes que l'on rencontre pour établir des trousses colletées et picotées; c'est surtout après que l'on a traversé un niveau d'eau, qu'il importe d'établir, dans le premier banc solide et peu perméable que l'on rencontre, des trousses capables de contenir les eaux supérieures.

Les marnes blanches et grises avec ou sans silex donnent toujours plus ou moins d'eau, et le puits doit être cuvelé dans la traversée de ces roches; mais le plus ordinairement, on ne rencontre plus d'eau après le premier banc d'argile bleue qui est immédiatement au dessous des marnes avec silex, ou *cornus*. On traverse ce banc, on pénètre de $0^m,80$ dans les marnes grises inférieures qui sont compactes et solides, et c'est là que l'on établit les fondements de tout le cuvelage. Ils consistent en deux trousses colletées, posées l'une sur l'autre, une trousse picotée, une troisième trousse colletée et une seconde trousse picotée. La pose de ces trousses, le colletage et le picotage sont exécutés avec un soin tout particulier, parce que le succès dépend entièrement de la bonne exécution de ce travail.

Quand le cuvelage est entièrement terminé et calfaté, on continue le creusement du puits dans les argiles et marnes, les dièves qui ne donnent plus d'eau, le tourtia, et enfin le terrain houiller. Dans toute cette partie, sauf le cas où le tourtia est remplacé par des sables aquifères, le puits est muraillé en briques, par portions successives en descendant. Cette opération sera décrite plus tard, quand nous traiterons du revêtement des puits en maçonnerie. Nous nous bornerons à ajouter ici que l'on creuse dans un des bancs d'argile imperméables à l'eau, qui se trouvent un peu au dessous de l'assiette du cuve-

lage, une galerie fermée sur le devant par un batardeau, et dans laquelle on conduit la petite quantité d'eau qui passe encore à travers le cuvelage, pour qu'elle ne tombe pas sur les ouvriers occupés au fond du puits, et pour éviter d'avoir à l'extraire d'une profondeur plus considérable.

Les *fig.* 1 à 8 de la *Pl. XVII*, représentent les détails d'un cuvelage exécuté dans un puits des mines de houille du grand Hornu en Belgique. Chaque cadre est formé de quinze pièces de bois formant un pentédécagone régulier; les pièces des trousses colletées et picotées sont assemblées à tenon et mortaise, ainsi que l'indique la *fig.* 6, qui représente un côté de la trousse picotée, dont l'épaisseur est de 0m,30. Les *fig.* 1 et 2, représentent la trousse picotée, avec les lambourdes appliquées sur ses faces extérieures, avant que le picotage ait eu lieu. Les *fig.* 3 et 4, représentent la même trousse, après l'opération du picotage : les lambourdes sont écartées par les coins, la mousse est comprimée et logée dans les petites cavités de la roche. La *fig.* 7 représente un coin plat, la *fig.* 8, un picot. La *fig.* 5, représente une portion du puits cuvelé, avec la partie immédiatement inférieure, creusée en dessous du niveau et revêtue d'un muraillemen en briques, qui repose sur un rouet colleté au ferme.

Cuvelages en fonte.—La *fig.* 9 *Pl. XVII*, représente un cuvelage en fonte, tel qu'il a été exécuté par M. Mathias Dunn dans un puits de la houillère de Preston-Grange, près d'Édimbourg. Ce mode de cuvelage fut introduit, vers l'année 1804 à 1805, dans les mines de houille du nord de l'Angleterre où il est aujourd'hui généralement usité. Auparavant, et dès l'année 1795, on construisait déjà des cuvelages en fonte de fer; mais ils étaient formés d'anneaux cylindriques d'une seule pièce, ce qui ne permettait de les employer que tout près de la surface, ou d'anneaux cylindriques composés de segments assemblés au moyen de brides saillantes vers l'intérieur du puits, et serrées par des boulons à vis, disposition qui était beaucoup moins avantageuse que celle qui lui fut substituée à l'époque indiquée plus haut.

Nous empruntons les détails qui suivent au mémoire de M. Mathias Dunn, publié dans les Transactions de la société de Newcastle. La grande couche de houille de Preston Grange, d'une puissance de 2 à 3 mètres, avait été anciennement exploitée, ainsi que les autres couches du même territoire, au moyen d'une galerie d'écoulement qui débouchait au niveau des hautes eaux du Frith du Forth, et recoupait la grande couche à 25m, 62 au dessous de la surface du sol. L'abondance des eaux fit abandonner cette exploitation en 1746.

L'ancienne galerie d'écoulement débite encore 900 litres d'eau par minute environ, et il existe en dessous de son niveau de grands lacs souterrains, dans les excavations résultant des anciens travaux. On avait plusieurs fois songé à reprendre l'exploitation de ces mines; mais on en avait été détourné par la nature des bancs de grès qui sont, dans tout ce district, divisés par de nombreuses et larges fissures depuis la surface jusques à une assez grande profondeur. Ces fissures laissant un passage facile aux eaux, on devait s'attendre à des difficultés considérables dues à ce que les eaux des vieux travaux arriveraient dans les puits qu'on entreprendrait de creuser. Cependant, vers la partie la plus basse du bassin, les fissures sont moins nombreuses et moins ouvertes. On se décida donc en 1829 à y foncer un puits, dans l'espoir qu'on rencontrerait à une certaine profondeur des bancs non fissurés, sur lesquels on pourrait asseoir un cuvelage capable de contenir les eaux des bancs supérieurs. On décida que le puits serait ouvert sur un diamètre intérieur de 3 mètres, et divisé en trois compartiments, dont l'un serait réservé aux pompes, et les deux autres à l'extraction de la houille.

Des pompes de $0^m,30$ à $0^m,32$ de diamètre au piston devaient être installées dans ce puits et mises en mouvement par une machine à vapeur de 70 chevaux de puissance, capable d'extraire du fond du puits, dont la profondeur devait être de 128 mètres, un volume de 1800 litres d'eau par minute.

Une machine de la force de 20 chevaux, qui devait servir ultérieurement à l'extraction de la houille, fut installée sur le puits, pour l'extraction de l'eau et des déblais pendant la première partie du fonçage.

Quand on fut arrivé à la profondeur de 13 mètres, les fissures fournirent déjà 900 litres d'eau par minute. Au dessous des bancs fissurés, on rencontra des assises imperméables, et l'on put asseoir à 16^m, 50 au dessous de la surface du sol, l'assise fondamentale du premier cuvelage. Cette assise fut un rouet ou anneau cylindrique formé de plusieurs segments en bois de chêne qui avaient 23 centimètres d'épaisseur et 20 1/2 centimètres de hauteur. Les pièces de ce rouet furent posées sur un plan d'assise dressé bien horizontalement dans la roche solide, avec interposition d'une petite planche mince entre deux segments contigus. On remplit avec des coins chassés jusqu'au refus l'intervalle compris entre la roche et le contour extérieur du rouet, et l'on enfonça en même temps des coins plats dans les joints verticaux du rouet, après quoi on éleva sur ce rouet un cuvelage en fonte tel que la représente la *fig.* 9. Il était formé d'anneaux de 0^m,

62 de hauteur verticale; chaque anneau composé de 8 segments d'une épaisseur de 12 millimètres, avec brides de 7 1/2 centimètres de largeur, saillantes en dehors, sur les quatre côtés. Ces segments furent disposés de manière que les joints verticaux de deux anneaux superposés fussent alternés, ainsi que le représente la figure, et entre tous les joints verticaux ou horizontaux on interposa un éclat de planche mince. A mesure que cette enceinte de fonte s'élevait dans le puits, on bourrait l'intervalle vide entre la roche et le contour extérieur avec des bois, des pierres ou autres déblais; par dessus le cuvelage en fonte qui eut une hauteur totale de 14^{m}, 60 on éleva un muraillement circulaire de 2^{m}, 45 de hauteur dont le poids portait sur les segments en fonte, ce qui permit d'enfoncer des coins de bois dans tous les joins, de manière à arrêter le passage des eaux. Quand cette opération fut terminée, les eaux des sources du voisinage qui avaient tari, parce qu'elles arrivaient au puits, reprirent leur cours naturel.

Le fonçage fut ensuite continué sans difficulté jusques à la profondeur de 40^{m}, 26 où l'on tomba sur une faille ou fissure largement ouverte qui fournit 1350 litres d'eau par minute. Cette fissure suivit le fonçage jusques à 51^{m}, 24 où le rocher non fissuré permit d'asseoir la base d'un nouveau cuvelage. C'est celui que représente la *fig.* 9. On lui donna 11^{m}, 90 de hauteur verticale. On établit dans la roche non fissurée inférieure, deux rouets picotés superposés, et quand on eut élevé le tubage en fonte jusque dans l'intérieur du banc non fissuré supérieur, on posa sur l'anneau supérieur deux rouets en charpente que l'on picota avec autant de soin que les rouets inférieurs, en les arc-boutant contre la roche par des étais inclinés, ainsi que l'indique la figure. On se procura ainsi une assise invariable à la partie supérieure du cuvelage, et l'on put resserrer par des coins en bois les joints horizontaux, aussi bien que les joints verticaux. Ce second cuvelage contint les eaux, comme l'avait fait le premier, malgré la pression beaucoup plus forte qu'elles exercaient sur lui.

En continuant le foncement on rencontra deux autres bancs fissurés, ce qui obligea de construire deux autres tronçons de cuvelage, l'un entre 58,^{m} 56 et 65^{m}, 88, l'autre entre 72^{m},30 et 80^{m}, 52 de profondeur.

Voici le tableau des poids, des longueurs des cuvelages et de leurs profondeurs au dessous du sol, avec le volume des eaux qui arrivaient à chacun des niveaux par les fissures, avant qu'elles fussent contenues.

Numéros des cuvelages ou tubages.	Poids de chaque segment de fonte.	Poids par fathom courant, le fathom = 1m,83 et contient 28 segments.	Volume des eaux affluentes, en hectolitres par minute.	Distance de l'assise inférieure du tubage au niveau du sol, en mètres.	Long. du tubage en fathoms.	Long. du tubage en mètres.
1er tubage.	101k,5	2,436k	9 hect.	16m,47	8	14m,64
2e tubage.	127k	3,045k	13,5	51m,24	6 1/2	11m,89
3e tubage.	139k	3,349k	13,5	65m,88	4	7m,32
4e tubage.	177k	4,062k	15,75	80m,52	4 1/2	8m,23

Calcul de l'épaisseur à donner aux cadres d'un cuvelage polygonal.— Soient ABCD, *fig.* 6, *Pl. XVII*, une des pièces d'un cadre de cuvelage polygonal, O le centre des cercles inscrits et circonscrits aux polygones dont AB, CD sont les côtés; R le rayon OI du cercle inscrit aux côtés extérieurs du cadre polygonal, H la hauteur d'eau qui pèse extérieurement sur le contour du cadre, e l'épaisseur IK, a la hauteur verticale du cadre, n le nombre des côtés du cadre, ω le poids du mètre cube d'eau.

La longueur extérieure AB d'un des côtés du cadre sera égale à $2R \tang \frac{360°}{2n}$. La face extérieure qui a cette longueur pour base supportera une pression normale de la part du fluide ambiant égale à $\omega a H \times 2R \tang \frac{360°}{2n}$. Les pressions des joints contigus au côté ABCD du cadre, et dont les plans verticaux ont pour traces horizontales AC et BD, seront par conséquent égales à $\omega a HR \tang \frac{360°}{2n}$

$$\frac{\omega a HR \tang \frac{360°}{2n}}{\sin \frac{360°}{2n}} = \frac{\omega a HR}{\cos \frac{360°}{2n}}.$$

Ces pressions, dirigées normalement aux plans de joint, ont pour composantes parallèles à l'axe de la pièce et aux fibres du bois $\omega a HR$, et si ces pressions égales et directement opposées agissaient seules sur la pièce, elles détermineraient un raccourcissement des fibres égales à la fraction : $\frac{\omega a HR}{a e E} = \frac{\omega HR}{e E}$ de la longueur primitive; E désignant le module d'élasticité du bois.

D'un autre côté, la pièce ABCD étant pressée extérieurement par l'eau, les joints AC et BD doivent se serrer surtout à l'intérieur du cadre en C et en D, et la pièce doit fléchir en se courbant vers l'intérieur, comme si elle était posée sur deux appuis dont la distance serait égale à CD, et chargée uniformément sur cette longueur CD, par la pression d'une colonne d'eau de hauteur H. Cette flexion produit un allongement des fibres situées sur la face CD, et un racourcissement des fibres situées sur la face extérieure. Si la pièce n'était soumise à aucune pression longitudinale, le racourcissement maximum des fibres, occasionné par la flexion due à la charge de la colonne d'eau H, serait égale, d'après les notions du chapitre V, tome I, à :

$$\frac{\frac{\varepsilon}{2}\times \omega H \times \frac{CD}{4}\times\frac{CD}{2}}{\frac{E\varepsilon^3}{12}} = \frac{3}{4}\,\frac{\omega H \times \overline{CD}^2}{E\varepsilon^2}.$$

Or

$$CD = AB - 2r\,\text{tang}\frac{360^\circ}{2n} = 2(R-\varepsilon)\,\text{tang}\frac{360^\circ}{2n}.$$

Portant cette valeur dans l'expression précédente, il vient, pour l'expression du plus grand raccourcissement proportionnel qui serait dû à la flexion considérée isolément :

$$3\frac{\omega H}{E\varepsilon^2}(R-\varepsilon)^2\,\text{tang}^2\frac{360^\circ}{2n}.$$

Quand la flexion de la pièce est très-petite, comme c'est toujours le cas pour les pièces courtes des cuvelages polygonaux d'un grand nombre de côtés, on peut admettre que le raccourcissement des fibres dû à la flexion, s'ajoute à celui qui est occasionné par la compression longitudinale, comme si les deux effets étaient superposés l'un à l'autre. Dans cette hypothèse, si nous désignons par i le plus grand raccourcissement proportionnel auquel on veuille exposer les fibres du bois, l'épaisseur ε sera déterminée par l'équation

$$\omega H\left\{\frac{R}{E\varepsilon} + 3\frac{(R-\varepsilon)^2}{E\varepsilon^2}\,\text{tang}^2\frac{360^\circ}{2n}\right\} = i.$$

La valeur de ε donnée par cette formule, décroît à mesure que le nombre des côtés du polygone augmente, et lorsque ce nombre est

infini, c'est-à-dire quand le cuvelage polygonal est remplacé par un cuvelage circulaire, on a:

$$\frac{\omega HR}{E\iota} = i, \text{ d'où } \iota = \frac{\omega HR}{Ei}. \quad (a)$$

Dans le cas général, l'équation donne pour ι une valeur qui serait longue à calculer. Mais si l'on suppose que l'épaisseur ι soit une petite fraction du rayon R, de telle sorte qu'on puisse remplacer, sans erreur nuisible, $(R-\iota)^2$ par R^2, la valeur générale de ι se réduit à

$$\iota = \frac{\omega HR}{2Ei}\left\{1 + \sqrt{1 + \frac{12\,Ei \tan g^2 \frac{360^\circ}{2n}}{\omega H}}\right\}. \quad (b)$$

On peut faire pour le bois de chêne: $E = 1.200.000.000$ et $i = 0,001$, on a alors $Ei = 1.200.000$. Remplaçant d'ailleurs ω par 1000 kilogrammes, la formule (a) donne pour l'épaisseur d'un cuvelage circulaire : $\iota = \frac{HR}{1200}$.

Si $R = 1^m,50$ et $H = 60$ mètres, on a :

$$\iota = 0,075.$$

Pour un cuvelage décagone, R étant encore supposé égal à 1 mètres, et H à 60 mètres, la formule (b) donne :

$$\iota = 0^m,108.$$

Les épaisseurs usitées dans les cuvelages du département du Nord, sont plus fortes que celles que nous venons de déterminer, en supposant $Ei = 1.200.000$. Ainsi, l'épaisseur adoptée pour les cadres de cuvelage placés à 60 mètres de profondeur, dans des puits de 3 mètres de diamètre, est de $0^m,16$. Nous croyons qu'il convient, en effet, d'exagérer la solidité de constructions aussi importantes que le sont celles des cuvelages de puits profonds, afin de se mettre à l'abri de toute chance d'accidents. Par ce motif, nous conseillerons de calculer l'épaisseur des pièces de cuvelage en bois de chêne, au moyen de la formule générale (b), dans laquelle on remplacera Ei par 600 000, ω par 1000 kilog., et où l'on prendra pour H la profondeur des pièces de cuvelage au dessous du sol. D'ailleurs, il y a une limite d'épaisseur au dessus de laquelle il faut se tenir dans tous les cas, pour que les plans de joints soient assez larges; cette limite nous paraît devoir être de $0^m,08$. Pour les trousses colletées et pi-

cotées, il conviendra, conformément à la pratique commune, d'augmenter de moitié l'épaisseur de ces pièces. Il est impossible d'apprécier, par le calcul, la pression produite par le picotage et les flexions qui en résultent.

Quant aux cuvelages en fonte, ils sont toujours circulaires, et on pourrait appliquer à la détermination de l'épaisseur des segments en fonte, la formule $t = \frac{\omega HR}{Ei}$, dans laquelle on ferait $Ei = 6.000.000$, ce qui reviendrait à faire supporter à la fonte une pression de 600 kilog. par centimètre carré de section transversale. Il est, en effet, peu vraisemblable qu'une pression de 600 kilog. par centimètre carré, qui est au dessous du 1|10 de celle qui a produit l'écrasement immédiat, dans les diverses expériences dont les résultats sont rapportés au chapitre V, pût occasionner la rupture. Mais il arrivera fréquemment qu'on devra augmenter les épaisseurs ainsi calculées, parce qu'elles seraient trop faibles pour mettre les pièces de fonte à même de résister aux chocs accidentels auxquels elles sont exposées, lorsqu'on les met en place, et peut être aussi pour parer aux défauts de moulage. En définitive, nous conseillons de ne jamais donner aux segments de fonte, quelque petite que soit la charge qu'ils auront à supporter, moins de 12 millimètres d'épaisseur. C'est celle qui a été adoptée par M. Mathias Dunn, pour les pièces du cuvelage en fonte du puits de Preston-Grange.

Cuvelage en bois renforcé par des armatures en fonte.—Si l'on avait donné aux pièces d'un cuvelage en bois, une épaisseur insuffisante pour supporter, sans flexion sensible, la pression des eaux, on pourrait renforcer les trousses de ce cuvelage, par des armatures en fonte appliquées sur le milieu de la hauteur des côtés. M. Evrard a décrit, dans les *Annales des mines*, t. II, 4e série, p. 701, un système d'armatures semblables, qu'il a appliquées au cuvelage d'un puits des mines de Vicoigne. L'armature de chaque trousse est formée de vingt pièces de fonte clouées contre les pièces du cuvelage décagone et serrés entre elles par des clavettes en fer. L'armature d'une trousse forme un cercle posé intérieurement. Il est nécessaire pour faire disparaître les saillies auxquelles les tonnes pourraient s'accrocher, d'appliquer à l'intérieur du puits, un garnissage en lattes, qui peuvent être clouées contre des tasseaux de bois fixés aux trousses. M. Evrard établit qu'un cuvelage ainsi armé, en fonte, est un peu plus économique qu'un cuvelage en bois, d'une épaisseur suffisante pour offrir une résistance égale à celle du cuvelage *armé*. Nous pensons cependant qu'il ne faudra avoir recours à ce moyen, que lors-

qu'il serait très-difficile de se procurer des bois de chêne d'une épaisseur suffisante et exempts de défauts.

Réparations des cuvelages.—Les cuvelages, soit qu'on les exécute en bois ou en fonte, doivent être construits en matériaux de très-bonne qualité, choisis et éprouvés au besoin avec des soins particuliers, afin que ces revêtements soient peu sujets à des réparations qui sont toujours une chose grave. Quand une pièce d'un cuvelage en bois vient à rompre sous la pression (ces pièces sont peu sujettes à périr par la vétusté, parce qu'elles sont préservées de la pourriture par l'action de l'eau qui les baigne constamment), on fixe les autres côtés de la même trousse aux pièces des trousses supérieures et inférieures, au moyen de bandes de fer et de vis à bois. On fixe de la même manière aux cadres supérieurs, la pièce qui est immédiatement au dessus de celle qui s'est rompue. Ensuite on sape celle-ci à coups de hache, et on la remplace par une autre, qui se pose comme on a posé la pièce formant clef, dans la première construction du cuvelage. Après la mise en place, on repasse le calfatage de tous les joints horizontaux, et l'on resserre même quelquefois ces joints par un picotage horizontal, exécuté au dessous de la trousse colletée ou picotée immédiatement supérieure au tronçon de cuvelage réparé.

Si les eaux qui se font jour par l'ouverture qui résulte de l'enlèvement de la pièce rompue gênaient trop le travail, on pourrait essayer de les faire écouler à un niveau plus bas, par des trous de tarière percés dans quelques-uns des cadres inférieurs.

Si c'est une pièce de trousse picotée ou colletée qui s'est rompue, il faut absolument remplacer la trousse entière, et, pour cela, il est nécessaire d'enlever plusieurs des cadres qui sont placés au dessus d'elle, et de suspendre le reste du cuvelage, demeuré ainsi sans appui, aux trousses colletées et picotées supérieures. On comprend combien il importe d'éviter de semblables réparations, puisque les machines placées sur le puits, après que le creusement est terminé, peuvent être insuffisantes pour effectuer l'épuisement des eaux affluentes. Le résultat est alors une interruption des travaux plus ou moins prolongée, et l'inondation d'une partie des excavations souterraines.

Pour les cuvelages en fonte, on se contente quelquefois de renforcer les segments rompus par des étriers en fer, et d'arrêter les filtrations par un calfatage. Lorsque ces moyens palliatifs sont insuffisants, on est obligé de briser le segment rompu à coups de masse, et de le remplacer par un autre.

Creusement des puits boisés dans les terrains très-ébouleux, tels que les marnes ou argiles coulantes et les sables semi-fluides.

Le procédé le plus ordinairement suivi pour foncer des puits boisés dans des terrains très-ébouleux, est analogue à celui que l'on emploie pour le creusement des galeries horizontales dans les terrains analogues. Il consiste à appliquer contre le terrain, des cadres rectangulaires, derrière lesquels on enfonce des palplanches jointives et légèrement divergentes, qui pénètrent dans le terrain, plus avant que le bas de l'excavation.

Les *fig.* 21 à 29 de la *Pl. XII*, représentent les détails de cette opération, telle qu'elle est pratiquée dans les terrains coulants du district de Tarnowitz en Silésie. La description suivante est empruntée au mémoire de M. Thurnagel, publié dans l'*Archiv.* de M. *Karsten.*

On établit d'abord sur le sol quatre pièces de bois de $0^m,25$ à $0^m,30$ de diamètre, longues de 10 à 12 mètres, assemblées à mi-bois, ou simplement réunies par des entailles peu profondes; deux pièces parallèles étant posées immédiatement sur le sol et à une distance égale à la largeur du puits dans œuvre, les deux autres sont posées sur les premières à angle droit, à une distance égale à la longueur du puits dans œuvre. Le rectangle intérieur formé par la jonction de ces quatre poutres est égal au vide intérieur du puits. On charge de terres ou de pierres les extrémités qui se prolongent au delà des parois du puits, et l'on procède au creusement. Les premiers mètres sont ordinairement faciles à creuser, et les parois s'y soutiennent, coupées à pic, sur une hauteur variable de $1^m,50$ à 2 mètres. Dès qu'on voit qu'il y aurait imprudence à approfondir l'excavation, on établit au bas du puits un cadre formé de quatre pièces assemblées à mi-bois par leurs extrémités, les deux côtés longs posés dessous, et les deux côtés courts par dessus. On a soin que les angles soient à l'aplomb de ceux du cadre supérieur. On passe entre le terrain et les deux cadres des planches de pin de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, coupées de longueur convenable, et que l'on serre contre le terrain avec des coins enfoncés entre elles et le contour externe du cadre inférieur, qui est lui-même consolidé par la pression de ces coins. On met ensuite en place un cadre intermédiaire qui repose sur quatre poteaux placés dans les angles du puits. Quatre autres poteaux vont du cadre intermédiaire au cadre supérieur. Enfin, on renforce les longs côtés des cadres par des moises transversales posées horizontalement. Les poteaux verticaux sont sciés de longueur et terminés par des faces planes,

fig. 26. Les moises transversales sont entaillées à leurs extrémités, comme l'indique la *fig.* 27.

L'opération se continue ainsi sans difficulté, tant qu'on ne rencontre pas un terrain coulant. On peut suspendre par des tirants en bois les cadres inférieurs aux longues poutres établies à la surface, si l'on craint que ces cadres ne soient pas suffisamment maintenus par la pression du terrain et des coins que l'on a enfoncés par derrière.

Dès l'origine, on élève au dessus du sol, sur les quatre pièces de bois dont nous avons parlé, un boisage à cadres contigus, montant jusqu'à 3 ou 4 mètres de hauteur. On garnit extérieurement ce boisage de planches, derrière lesquelles on amoncelle les déblais extraits du puits en creusement, ou d'autres déblais, pour former une plateforme autour du puits. Sur le cadre supérieur, on monte les deux tours à bras qui doivent servir au creusement, et qui correspondent aux deux divisions du puits formées par les moises horizontales.

Les *fig.* 21, 22 et 23 représentent l'opération du creusement, dans les parties difficiles. Dès que le terrain devient coulant, au lieu de poser le cadre inférieur directement sur le sol, on le pose sur quatre planches *d*, *d*, *d*, *d*, sciées de longueur convenable et placées près des côtés courts du puits. Le cadre étant posé sur ces planches, on glisse, entre ses côtés et les extrémités des palplanches qui pénètrent plus avant dans le terrain, des planches *e*, *e*, *e*, *e*. On écarte les planches *e* et les extrémités des palplanches, en enfonçant quelques coins *f*, *f*, *f*, derrière les quatre côtés du cadre, et l'on se ménage ainsi un espace libre de 6 à 8 centimètres, destiné à recevoir un nouveau cours de palplanches. Procédant alors à l'enfoncement de ce dernier cours de palplanches, on commence par les quatre angles où l'on place deux planches coupées comme l'indique la *fig.* 29, le côté le plus large en avant, pour qu'elles se touchent sur toute leur longueur, malgré qu'elles soient enfoncées en divergeant dans le terrain. Pour enfoncer les palplanches dans la direction convenable, on s'appuie sur le contour interne du cadre immédiatement supérieur, ou d'un cadre perdu que l'on pose exprès pour cet usage, ou même de simples lattes d'épaisseur convenable clouées contre le boisage supérieur. On garnit ainsi tout le contour du cadre de palplanches que l'on n'enfonce guère, dans un terrain difficile, au delà de 25 à 75 centimètres, quoiqu'on pût facilement les enfoncer entièrement en une seule fois, si d'ailleurs cela n'était pas nuisible au bon succès de l'opération.

Dans l'axe du puits est un coffre *g*, *h*, *fig.* 21, 22 et 23, d'environ 0m,75 de côté et 1 mètre de profondeur, formé de planches jointives clouées contre le contour extérieur du cadre *c*. On enfonce ce coffre

en avant, pour former un puisard, dans lequel se réunissent les eaux, et, pour empêcher les terres semi-fluides de remonter dans son intérieur, on passe de la paille en dessous des planches qui en forment les parois. Cette paille se loge, partie derrière les planches, partie dans le fond du coffre, et rend moins facile le mouvement des terres de bas en haut.

Lorsque les palplanches ont été enfoncées sur tout le contour du puits, on commence à enlever le terrain, d'abord sur l'un des côtés courts du puits, en enfonçant d'ailleurs toujours le coffre puisard. On cherche ainsi à abaisser la première planche *d*. Aussitôt qu'on y est parvenu, on coupe de longueur deux étais *i*, qui s'appuient sur les extrémités de cette planche et supportent le cadre supérieur. On en fait autant pour la seconde planche, après quoi on passe à l'autre côté du puits. Quand on est parvenu à descendre les semelles ou planches *d*, *d*, à une profondeur un peu moindre que celle où sont parvenues les extrémités des palplanches, on établit, pour maintenir les palplanches écartées, un cadre perdu ou provisoire *p*, *o*, *fig.* 21 et 23, dont les côtés sont habituellement formés par des billes de bois refendues en deux, et passent derrière les étais verticaux qui soutiennent le cadre supérieur. Les côtés de ce cadre perdu sont souvent fixés à quelques-unes des palplanches par des crampons en fer. On achève ensuite d'enfoncer les palplanches extérieures; on enlève le terrain sur un seul côté du puits à la fois, on abaisse les planches formant semelle, et on remplace en même temps les étais par des étais plus longs, ou bien on met des étais verticaux depuis le sol jusqu'au cadre perdu, et d'autres depuis le cadre perdu jusqu'au cadre principal supérieur.

On établit alors sur le fond du puits un deuxième cadre principal, derrière lequel on enfoncera un nouveau cours de palplanches. Pour la pose de ce cadre, il est indispensable de déplacer les étais verticaux qui soutiennent le cadre supérieur. C'est ce que l'on fait avec les plus grandes précautions, successivement, et mettant même au besoin dans le milieu du puits d'autres étais provisoires, qui s'appuient toujours sur l'une des planches-semelles et vont soutenir le cadre supérieur par l'intermédiaire d'une autre planche mise en travers au dessous de celui-ci.

Après la pose de ce cadre inférieur, on remplace le cadre provisoire par un cadre définitif intermédiaire, les étais provisoires par des poteaux placés dans les angles, et on établit les moises horizontales qui renforcent les deux longs côtés des cadres. Les palplanches ayant environ 2 mètres de longueur seulement, la plus grande distance de

deux cadres principaux ne dépasse guère 1m,40 à 1m,50, et dans les terrains très-difficiles, cette distance n'est que de 0m,50 à 0m,60. Les cours de palplanches se recouvrent alors l'un sur l'autre sur plus de la moitié de leurs longueurs; on place toujours un cadre intermédiaire entre deux cadres principaux.

Une précaution indispensable dans ces mêmes terrains, consiste à enfoncer toutes les palplanches d'un même cours de la même quantité, et à les recéper au besoin, de façon que leurs têtes aboutissent dans le plan de niveau de la partie supérieure du cadre derrière lequel elles ont été enfoncées. On pose à plat, sur les côtés de ce cadre, quatre planches *q*, *q*, *fig.* 21 et 23, qui les débordent et recouvrent les têtes des palplanches, et sur lesquelles on appuie les étais ou poteaux verticaux placés dans les angles du puits, entre les cadres. Si l'on ne prenait pas cette précaution, il pourrait arriver que quelques-unes des palplanches fussent repoussées par la pression du terrain.

Enfin, on ne néglige pas, pendant le creusement, quand les circonstances l'exigent, de relier les cadres entre eux par des longuerines en bois clouées à l'intérieur des cadres, et qui les tiennent à distance les uns des autres, en même temps qu'elles servent à suspendre tout l'ensemble aux longues poutres posées en croix sur le sol.

Quand on est arrivé à une roche solide, on établit, dans le plan des deux côtés courts du puits, deux traverses ou porteurs d'un fort équarrissage qui s'appuient profondément dans la roche par leurs extrémités. Sur ces deux pièces on pose un cadre rectangulaire, des étais verticaux allant de ce cadre au cadre supérieur, et tout le boisage se trouve établi sur une base sûre. Mais il est encore nécessaire, pour qu'il soit parfaitement solide, de relier tous les cadres entre eux par quatre longuerines verticales établies dans les coins du puits, en dedans des cadres : on les applique contre les côtés courts. *b*, *fig.* 28, *Pl. XII*, représentant, en projection verticale, l'un des porteurs appuyés sur la roche solide, et *a*, *a*, les côtés longs du cadre posé directement sur ces pièces, *c* est la semelle horizontale sur laquelle sont posées les longuerines *d*, *d*, qui sont maintenant écartées et pressées contre les pièces longues des cadres successifs par des entretoises horizontales, telles que *e*, et des arcs-boutants inclinés *f*, *f*. Ces longuerines, fixées par des crampons en fer aux cadres principaux, ont la plus grande longueur possible, habituellement 10 à 12 mètres. On fait en sorte qu'elles se terminent vis-à-vis d'un cadre principal, sur lequel est posée une nouvelle semelle portant d'autres longuerines, qui prolongent les premières et sont liées avec elles, au

besoin, par des bandes de fer. En même temps que l'on pose ces longuerines, on cloue contre l'intérieur des cadres, les planches ou coulants destinés à guider les tonnes, on met en place les échelles de descente, et on construit les planchers horizontaux, qui divisent la descenderie en étages successifs, ayant environ 10 mètres de hauteur verticale.

Creusement dans les terrains coulants voisins de la surface du sol. — Quand les terrains à traverser sont très-fluides, n'ont qu'une médiocre épaisseur et sont voisins de la surface, il est souvent possible de faire un encaissement formé par des pieux jointifs, armés à leurs extrémités inférieures de sabots en fer tranchants, et que l'on enfonce à coups de mouton à travers les terrains mouvants jusqu'aux couches solides sous-jacentes.

Pour que l'opération réussisse bien, on enlève d'abord les terres supérieures, dans lesquelles on creuse une excavation qui soit capable de contenir l'enceinte de pieux que l'on veut former, et dont on soutient les parois par un boisage. Sur le fond de cette excavation, on établit deux forts cadres en bois équarris, soigneusement assemblés, posés l'un dans l'intérieur de l'autre, de manière à laisser entre deux un espace vide d'une largeur égale à l'épaisseur des pieux qui formeront l'enceinte. Sur ces cadres fondamentaux, on pose d'autres cadres jointifs, dont les côtés en regard sont soigneusement dressés au rabot. On élève les deux systèmes de cadres, soit jusqu'au niveau du sol, soit jusqu'au niveau d'une plate-forme ménagée dans l'excavation, et sur laquelle pourront se placer des ouvriers. On installe plusieurs sonnettes sur le contour extérieur de la fosse, et l'on procède à l'enfoncement des pieux jointifs dans l'espace vide qui se trouve ménagé entre les cadres intérieurs et extérieurs. On commence par les quatre angles. Tous les pieux sont soigneusement dressés au rabot sur les quatre faces; ils peuvent même être préparés de façon à s'assembler l'un à l'autre au moyen d'une coulisse ou entaille de forme triangulaire creusée sur une des faces latérales de chacun d'eux, et d'une saillie de même forme ménagée sur l'autre face, saillie qui remplira l'entaille du pieu contigu. Il faut les enfoncer bien verticalement et successivement, par petites quantités à la fois, de façon à ce que leurs extrémités inférieures arrivent à des profondeurs peu différentes l'une de l'autre. Si l'on parvient à traverser ainsi tout le terrain mouvant, et à faire que les extrémités inférieures de la totalité des pieux s'appuient sur le terrain solide inférieur, le succès de l'opération est assuré. On commencera par fixer aux pieux les cadres intérieurs posés sur le terrain que l'on va maintenant enlever. On

pourra aussi suspendre tous ces cadres à de fortes poutres d'une grande longueur étendues à la surface du sol. Cela fait, on extraira les terres ou sables qui se trouveront dans l'intérieur de l'enceinte de pieux. S'il est possible d'extraire les eaux en même temps que les terres, on mettra en place, à fur et mesure du creusement, de nouveaux cadres destinés à maintenir les pieux en place, et à les empêcher de rentrer dans le vide intérieur par l'effet de la poussée du terrain extérieur. Ces cadres seront fixés par des crampons aux pieux mêmes, ou suspendus par des tirants aux cadres supérieurs. On arrivera ainsi jusqu'au terrain solide dans lequel on établira un cadre de fondation, posé sur des porteurs encastrés dans la roche, si c'est une roche tout à fait dure, ou bien serré par un *colletage*, si le terrain solide est de nature tendre, comme le sont des argiles ou des marnes. On élèvera ensuite un cuvelage dans l'enceinte formée par les cadres de boisage provisoire.

Il pourra arriver qu'on puisse extraire les terres isolées par l'enceinte, sans pouvoir en même temps épuiser les eaux qui se feront jour par les intervalles des pieux. Les terres meubles seraient alors extraites, soit à la drague, soit avec de grands cylindres à soupape analogues à ceux que l'on emploie, dans l'opération du sondage, quand on rencontre des terrains de la nature de ceux qui nous occupent. Dans ce cas, les eaux se tiendraient dans l'enceinte intérieure à peu près au même niveau qu'à l'extérieur : la pression de ces eaux suffirait généralement pour empêcher les pieux de se rapprocher, et l'on pourrait, par conséquent, vider des matières solides, toute l'enceinte qui demeurerait seulement remplie d'eau, comme un trou de sonde. Si la surface de séparation des terrains mouvants et des terrains solides inférieurs était horizontale, il serait évidemment facile de descendre dans le vide intérieur une ligne de tuyaux en fonte, ou un cuvelage en bois préparé et assemblé d'avance. Mais il arrive rarement que la surface de séparation soit horizontale ; par conséquent la colonne en fonte, ou l'assise inférieure du cuvelage en bois, ne viendrait pas s'appuyer, par tout son contour, sur le terrain solide. A moins donc que ce dernier terrain ne consiste en un banc d'argile imperméable à l'eau, mais assez tendre pour que le cuvelage ou tubage puisse s'y enfoncer par une pression exercée à la partie supérieure, de manière à ce que la jonction du cuvelage et du terrain soit capable de réduire suffisamment l'affluence d'eau, il faudra préalablement entailler la roche solide, et y préparer une banquette horizontale et plane, pour recevoir la base du cuvelage. Il ne serait pas impossible d'y parvenir, sans épuisement préalable des eaux, par le procédé suivant.

On ferait construire un disque en fonte, auquel on fixerait plusieurs séries circulaires de trépans aciérés capables d'entailler et de broyer la roche par percussion. Ces trépans seraient saillants sur la face inférieure du disque, auquel on donnerait un diamètre plus large de 15 à 20 centimètres que celui du cylindre circonscrit au cuvelage que l'on enfoncera plus tard dans le puits. Ce disque serait fixé à une tige rigide en bois ou en fer, composée de parties jointes entre elles par des emmanchements, comme le sont les tiges de sonde, ayant toute la profondeur du puits, et suspendu à un câble, pour être manœuvré à la manière des outils de sondage qui agissent par percussion. Pour guider le disque dans sa chute, on adapterait à la tige, vers sa partie supérieure, un cylindre d'un à deux mètres de hauteur, et on fixerait aux cadres supérieurs établis à la tête des pieux, des solives disposées suivant une surface cylindrique d'un diamètre un peu plus grand que celui du disque, qui embrasserait le cylindre adapté à la tige, et dont l'axe se confondrait avec celui de l'enceinte vidée de sable. En adoptant une disposition convenable pour les trépans fixés au disque circulaire dont j'ai parlé, on arriverait sans doute à entailler la roche solide sur une profondeur suffisante pour que le fond de cette entaille présentât une surface horizontale assez bien dressée pour recevoir le cuvelage que l'on descendrait dans le puits plein d'eau. Les fragments de roche broyée seraient extraits au moyen de seaux à soupape analogues à ceux dont on fait usage dans l'opération du sondage.

Le travail indiqué ci-dessus n'est, au reste, qu'un sondage sur un diamètre inusité. Il serait possible qu'il pût être exécuté avec plus de facilité, en forant d'abord dans l'axe du puits un trou d'un diamètre moindre, 30 à 40 centimètres par exemple, pour lequel on se servirait d'une sonde et des outils de sondage ordinaire. La sonde serait guidée, dans ce premier forage, par un cylindre en tôle ou en fonte établi dans l'axe du puits, et fixé aux cadres qui auraient servi à diriger les pieux. Quand ce premier trou aurait été poussé à une profondeur de 5 à 6 mètres, on enlèverait le tube, et on opérerait seulement alors avec le large disque garni de trépans que j'ai indiqué, et dont le trépan central serait remplacé par un cylindre plein, qui s'engagerait dans le trou déjà foré et servirait à guider l'instrument.

Une fois qu'on serait parvenu à dresser une banquette horizontale circulaire capable de servir d'assiette au cuvelage, il serait aisé de descendre dans le puits un cuvelage en fonte ou en bois, formé par des pièces superposées que l'on assemblerait successivement les unes sur les autres à l'orifice du puits : le cuvelage étant mis en place, on coulerait dans l'intervalle compris entre son contour extérieur et

l'enceinte de pieux un béton composé de chaux hydraulique, de sable et de petits cailloux. Ce béton tassé fortement, de manière à remplir tout l'espace vide, ferait bientôt prise dans l'eau, et l'épuisement dans l'intérieur du cuvelage serait alors rendu facile.

Machine à air comprimé de M. Triger.—Je citerai ici le procédé ingénieux imaginé par M. Triger pour exécuter un travail de ce genre dans les sables mouvants et très-aquifères qui recouvrent le terrain houiller existant sous le lit même de la Loire et près des bords de ce fleuve, à la hauteur de Chalonnes (Maine-et-Loire). On était parvenu, en suivant des méthodes analogues à celles qui sont usitées dans les travaux de sondage, à enfoncer un tube en tôle de 1m,33 de diamètre intérieur et 12 millimètres d'épaisseur, à travers les sables mouvants dont la puissance est d'environ 20 mètres jusqu'au roc solide, et à extraire les sables contenus dans l'intérieur de ce tube. Mais les eaux arrivant abondamment par dessous les bords inférieurs du tube, on n'avait pas de moyens suffisants pour les épuiser. Il fallait cependant, pour arrêter les eaux, établir une jonction entre le tube et la roche solide. Pour y parvenir, M. Triger imagina de placer à l'orifice du puits un appareil qu'il appelle un sas à air. C'est une boîte de forme quelconque qui s'adapte à la partie supérieure du tube en tôle par un disque circulaire garni d'étoupes, afin d'obtenir une jonction aussi parfaite que possible. Un tuyau traverse cet appareil, débouche dans le puits par une extrémité, et communique par l'autre avec une pompe à air, dont le piston est mené par une machine à vapeur. On pouvait ainsi fouler de l'air dans le puits. La pression de l'air devenue assez forte forçait l'eau à rentrer dans les sables, et l'empêchait de passer des sables extérieurs dans le puits. L'eau était aussi élevée au jour par un tuyau traversant l'appareil, dont l'orifice inférieur plongeait dans l'eau, et qui débouchait librement au jour. Le sas à air est muni d'une porte ou soupape s'ouvrant vers l'intérieur, par laquelle les hommes peuvent s'y introduire. Le disque appliqué sur le puits est muni d'une semblable porte ou soupape s'ouvrant du côté du puits, et par laquelle les hommes peuvent passer du sas à air dans le puits. Un robinet permet de mettre à volonté l'intérieur du sas en communication avec l'atmosphère, et un autre robinet permet de faire communiquer l'intérieur du même sas avec le puits.

Cela posé, en faisant marcher la pompe foulante, on comprimait l'air dans le puits, et si le deuxième robinet, adapté au disque du sas à air, était fermé, ainsi que la porte adaptée à ce même disque, l'intérieur du sas demeurait rempli d'air à la pression atmosphérique. Des ouvriers pouvaient s'y introduire. Une fois entrés, ils fermaient

la porte par laquelle ils étaient entrés, ainsi que le robinet qui mettait le sas en communication avec l'atmosphère. Ils ouvraient, au contraire, le robinet servant à établir la communication avec le puits. Le sas se remplissait alors, comme le puits, d'air comprimé. Il devenait possible d'ouvrir la porte de communication adaptée au disque du sas, et les hommes pouvaient descendre dans le puits, y travailler, et élever dans l'intérieur du sas, au moyen d'un tour à bras qui y était installé, les matériaux solides provenant du creusement. Lorsque l'intérieur du cylindre commençait à s'encombrer de ces matériaux, il était nécessaire de les rejeter au dehors. Pour cela, il suffisait de fermer la porte et le robinet de communication adaptés au disque inférieur du sas, et d'ouvrir ensuite le robinet de communication avec l'atmosphère. L'air du sas se mettait en équilibre de pression avec l'air atmosphérique, la porte extérieure s'ouvrait et permettait de rejeter au dehors les matières extraites.

La plus grande difficulté de ce procédé, qui a bien réussi à M. Triger, me paraît être d'obtenir une jonction suffisante entre le terrain à l'orifice du puits, et le sas à air. Cette jonction ne doit pas être hermétique. Il faut qu'elle laisse passer une quantité d'air suffisante pour le renouvellement de l'air nécessaire à la respiration des ouvriers et à la combustion des lampes. Mais il suffit, pour cela, quand la pression est un peu considérable, de fissures extrêmement déliées. Si la jonction est au contraire trop imparfaite, on dépensera une quantité de travail énorme pour maintenir dans le puits une pression suffisante au refoulement des eaux dans les sables.

M. Triger a constaté que les hommes pouvaient travailler, sans inconvénient grave pour leur santé, dans un air comprimé à trois atmosphères, et même trois atmosphères et demie. Les chandelles brûlent avec une activité extrême dans cet air comprimé. Dans le commencement de l'opération, aussitôt après la mise en place du sas à air, l'eau du puits fut vidée sous l'influence de la compression de l'air, par le tuyau qui traversait le sas, et débouchait par un bout dans l'eau du puits, et par l'autre bout dans l'atmosphère.

Quand l'eau eut été refoulée jusqu'au niveau de l'orifice inférieur du tuyau élévatoire, celui-ci se remplit d'un mélange d'éau et d'air, ou d'une eau mousseuse qui jaillit par l'orifice supérieur du tuyau à une hauteur que M. Triger évalue à environ 20 mètres, ce qui correspondrait à une élévation totale d'environ 40 mètres au dessus du niveau de l'eau. La pression totale de l'air comprimé accusée par un manomètre n'était dans ce moment que de trois atmosphères, c'est-à-dire deux atmosphères en sus de la pression atmosphérique. M. Tri-

ger en conclut qu'il est possible d'élever l'eau, par la pression de l'air, à une hauteur beaucoup plus grande que celle qui mesure l'excès de pression de l'air comprimé au-dessus de la pression atmosphérique, et il profita, en effet, de cette possibilité, dans la suite du travail, pour élever l'eau à 25 mètres de hauteur environ, sans pousser la compression de l'air au delà de deux atmosphères. Pour cela, il pratiqua une ouverture latérale dans la paroi du tuyau d'ascension, à un tiers environ de sa hauteur à partir de l'orifice inférieur. L'air qui s'introduisait par cette ouverture s'interposait entre les particules de l'eau soulevée, et la colonne formée d'un mélange d'eau et d'air, rendue plus légère, pouvait être soutenue par une pression intérieure beaucoup moindre. D'après M. Triger, l'eau mousseuse ne cessait de se dégager par l'orifice supérieur du tube de 25 mètres de hauteur verticale, que lorsque le manomètre accusait moins d'une demi-atmosphère de pression en sus de la pression atmosphérique. Ces effets sont analogues à ceux que l'on obtient avec la *pompe spirale* décrite dans les notes de M. Navier sur l'architecture hydraulique de Bélidor. Du reste, il serait évidemment préférable, pour l'économie de la puissance motrice, que l'air fût suffisamment comprimé pour soutenir dans le tuyau et y faire circuler une colonne d'eau sans mélange.

Quand l'eau du puits fut vidée jusques en dessous des bords du tube, l'air comprimé pénétra dans les sables, par l'intervalle existant entre la roche solide et le bas du tube. Cet air venait se dégager dans le lit de la Loire dont il faisait bouillonner les eaux, tandis que du sable fin coulait abondamment dans l'intérieur du puits. On arrêta les sables en plaçant un tube en tôle provisoire vers le bas du premier tube; mais la jonction ne put être assez bien établie pour intercepter toute communication de l'intérieur du puits avec l'extérieur, et il arriva encore beaucoup d'eau qu'il fallut épuiser, en la refoulant au dehors par le tube ascensionnel. C'est surtout dans cette circonstance qu'on mit à profit le mélange d'eau et d'air, afin d'éviter d'avoir à comprimer l'air jusqu'à 3 atmosphères 1/2, comme il aurait fallu le faire, pour élever une colonne d'eau sans mélange d'air à 25 mètres de hauteur.

Enfin on parvint à approfondir le puits de 6 mètres dans la roche solide, et l'on établit un cuvelage en bois avec trousses picotées, que l'on lia par un picotage au tube en tôle enfoncé dans les sables supérieurs. L'opération terminée, les filtrations d'eau furent à peu près complétement arrêtées, et M. Triger dit qu'il n'arriva plus dans le puits que deux hectolitres d'eau par vingt-quatre heures (*Comptes*

rendus des séances de l'Académie des sciences, tome XIII, page 884, séance du 2 novembre 1841).

Puits creusés par enfoncement d'un tubage en fonte dans le terrain. Dans les environs de Londres, les puits destinés à donner de l'eau pour les usages domestiques ou autres, doivent être creusés à travers des couches de sables coulants et d'argiles sans consistance superposés à l'argile de Londres (*London clay*), à la surface de laquelle se trouvent les sources. On traverse ces bancs dont l'épaisseur est de 8 à 10 mètres, au moyen d'une colonne de tuyaux en fonte de fer de $1^m,20$ de diamètre intérieur, qu'on enfonce par pression, en chargeant de poids sa partie supérieure. Voici les dimensions des tuyaux que j'ai vus employer pour cet usage dans l'imprimerie de M. Clowes à Lambeth. Ils ont $1^m,22$ de diamètre intérieur, 22 millimètres d'épaisseur, et $1^m,10$ de longueur. Ils sont terminés à leur partie supérieure et inférieure par des collets ou brides tournés en dedans dont la largeur est de 9 centimètres. Le tuyau inférieur qui pénètre le premier dans le terrain n'a de bride qu'à sa partie supérieure. Ces tuyaux s'assemblent avec des boulons à vis et écrous, qui traversent les brides entre lesquelles on interpose un joint formé d'une couronne plate en plomb, ou d'un cercle plat en fer entouré d'une étoffe de laine fortement goudronnée. Après avoir extrait la terre végétale jusqu'au terrain mouvant, on met en place le premier tuyau, sur lequel on en assemble un second, puis un troisième. Si la colonne ne descend pas dans le terrain par son propre poids, on la charge avec des saumons de fonte, de plomb, ou autres corps lourds, pour déterminer l'enfoncement. On allonge la colonne à mesure qu'elle s'enfonce, en ajoutant de nouveaux tuyaux à la partie supérieure, et, s'il est nécessaire, on extrait les sables de l'intérieur, soit avec un cylindre à soupape, soit en faisant descendre des hommes, quand le puits est sans eau, ou qu'il est possible d'épuiser celle-ci. La colonne de tuyaux s'enfonce en général lentement sous les poids dont on la charge, et va s'appuyer par sa base sur les argiles dans lesquelles elle pénètre à une petite profondeur. Quand elle a traversé les sables mouvants, on extrait facilement ceux-ci jusques à l'argile, après quoi le puits est terminé. Le puits foncé ainsi dans l'imprimerie de M. Clowes avait $7^m,62$ de profondeur. La colonne était formée de sept tuyaux superposés, et on avait employé un mois pour l'enfoncer et extraire les sables. La *fig.* 10, *Pl. XVII*, représente trois tubes en fonte, à brides rentrantes, superposés. Dans les districts de mines de la Grande-Bretagne, là où l'on rencontre à la surface même des sables mouvants sur une petite épais-

seur, on les traverse de la même manière, avec des tubes en fonte : mais comme ceux-ci doivent avoir un plus grand diamètre, on compose chaque tuyau partiel de plusieurs segments assemblés par des brides disposées suivant les génératrices de la surface cylindrique. On a ainsi des joints verticaux en même temps que des joints horizontaux, comme dans les cuvelages en fonte.

Tours en maçonnerie enfoncées dans les terrains semi-fluides. — On a enfoncé quelquefois dans les terrains semi-fluides, dont nous nous occupons, des tours en maçonnerie. Les *fig.* 11 *à* 16, *Pl. XVII*, représentent un travail de ce genre tel qu'il était exécuté autrefois dans le district de Tarnowitz en Silésie. La description suivante est empruntée au mémoire de M. Thurnagel déjà cité si souvent, et imprimé dans le vol. 5 de l'Archiv. de M. Karsten, p. 108.

On suppose que le puits a un peu moins de 2 mètres de diamètre intérieur ; l'épaisseur de la maçonnerie est de 0m,50.

On creuse d'abord à la manière ordinaire, dans l'emplacement du puits, une excavation boisée, *fig.* 13, carrée, et dont le côté dépasse de 2 mètres environ le diamètre du puits, y compris l'épaisseur des murs. Au fond de cette excavation qui est approfondie, jusqu'à ce que l'on soit gêné par la nature trop fluide du terrain, on en creuse une autre de section moindre, et dont la largeur ne dépasse plus que d'un mètre environ le diamètre extérieur de la maçonnerie. On dresse suivant un plan horizontal le fond de cette dernière excavation, et on y établit le rouet en charpente *a a* sur lequel la maçonnerie doit être construite. Ce rouet, représenté à part, *fig.* 11 et 12, est formé de trois couronnes superposées, en planches de 5 à 6 centimètres d'épaisseur. La couronne supérieure (profil, *fig.* 12) a le même diamètre intérieur que la maçonnerie, et une largeur égale à l'épaisseur de celle-ci. La couronne intermédiaire ayant même diamètre intérieur que la première, déborde celle-ci extérieurement sur une largeur de 5 à 6 centimètres : sur cet espace est creusée une feuillure circulaire de 5 centimètres de profondeur et 2 1/2 à 3 centimètres de large, destinée à recevoir les extrémités des planches qui doivent enceindre la maçonnerie et l'empêcher de frotter contre le terrain. Enfin la couronne inférieure, ayant même diamètre intérieur que les deux autres, a une largeur moindre de 1 1/2 à 2 centimètres que celle de la couronne intermédiaire. Sur le contour de cette couronne inférieure est fixé, avec de longs et forts clous, un anneau tranchant en fer, fortement aciéré, de 1 1/2 à 2 centimètres d'épaisseur, de 10 à 12 centimètres de longueur, et légèrement recourbé en dehors, ainsi que l'indique la figure. Ces trois couronnes

assemblées avec des chevilles l'une sur l'autre, constituent le rouet qui sert de base à la maçonnerie. Après l'avoir posé sur le sol horizontal du puits creusé au fond de la grande excavation, on dresse sur son contour extérieur des planches de 4 mètres de long qui reposent par leur extrémité inférieure dans la feuillure circulaire pratiquée sur le contour de la couronne intermédiaire; on cloue les extrémités supérieures de ces mêmes planches contre le contour extérieur d'un rouet en charpente *c*, *c*, formé de deux couronnes superposées, et qui est à 4 mètres au-dessus du rouet inférieur. Les planches qui ont environ 12 à 13 centimètres de largeur forment un cylindre droit circonscrit aux rouets, et dans l'intérieur duquel on construit une maçonnerie faite avec beaucoup de soin. Quand elle est élevée de 2 mètres, on l'arase horizontalement, et on pose dessus un autre rouet formé aussi de deux couronnes superposées, sur le contour extérieur duquel on cloue encore les planches d'enceinte par le milieu de leur longueur. Par dessus ce rouet qui est représenté à part, *fig*, 11, on pose deux traverses horizontales en bois *m*, *m* de 15 à 16 centimètres d'équarissage, lesquelles vont se trouver engagées par leurs extrémités dans l'épaisseur de la maçonnerie qu'on élève jusqu'au rouet supérieur. En même temps, on remplit de pierres ou de déblais l'espace vide *v*, *v* qui est resté autour de l'enceinte de planches, à partir du fond de l'excavation supérieure la plus large.

On a d'ailleurs établi d'avance sur l'orifice de celle-ci, les deux tours à bras dont on se sert pour descendre aux maçons les matériaux de construction, et qui serviront plus tard à l'extraction des déblais. La maçonnerie étant élevée de 4 mètres, c'est-à-dire jusqu'au dessous du rouet supérieur, on commence à déblayer le terrain, à partir de l'axe du puits, en s'approchant du pourtour et sur toute la circonférence à la fois, jusqu'à ce que la tour en maçonnerie commence à s'enfoncer, par son propre poids, en faisant ébouler dans l'intérieur du puits les terres qui sont coupées et séparées du massif par l'anneau tranchant.

Si la consistance du terrain ne permet pas encore à la maçonnerie de descendre, on creuse cylindriquement à l'aplomb de la paroi intérieure de la maçonnerie, puis deux ouvriers, placés aux extrémités d'un même diamètre et se tournant le dos, excavent horizontalement au dessous du rouet. Ordinairement la descente a lieu ainsi : cependant il arrive quelquefois qu'on est obligé de creuser sous le contour entier du rouet. Mais alors il est à craindre que la maçonnerie ne se divise et ne descende pas tout d'une pièce. Pour prévenir cet acci-

dent, on place quatre fortes ancres en fer qui ont chacune 1 1/2 pouce (0m,04) de côté. Ces ancres sont terminées en bas par une patte qui saisit le dessous du rouet, et en haut par un pas de vis qui passe dans des trous pratiqués dans les traverses horizontales posées sur le rouet supérieur. Des écrous vissés sur les têtes des ancres serrent fortement les pattes contre la face inférieure du rouet. Quand on a pris cette précaution, on peut excaver sans crainte, sous le contour entier de la maçonnerie, et si elle ne descend pas alors par son propre poids, on va jusqu'à l'anneau tranchant que l'on met à découvert, en ayant soin toutefois de ne donner à l'entaille faite dans le terrain qu'une hauteur qui ne dépasse pas 20 pouces. On sort du puits, on recouvre la maçonnerie d'un plancher que l'on charge de pierres ou d'autres corps lourds jusqu'à ce que la descente ait lieu. Quand le mouvement vers le bas a cessé, on procède de la même manière et l'on continue jusqu'à ce que la maçonnerie soit descendue de telle sorte que le troisième rouet soit venu au niveau du fond du grand puits carré maintenu par un boisage.

On cloue alors de nouvelles planches sur le contour extérieur du rouet qui couronne la maçonnerie enfoncée; on cloue ensuite les extrémités supérieures des mêmes planches contre un rouet composé et placé comme les premiers, et on élève en dedans de ce cylindre de bois une portion de maçonnerie, après avoir eu la précaution de poser sur le rouet inférieur des traverses parallèles à celles que l'on a déjà établies pour le second rouet de la première portion. La maçonnerie s'élève ainsi, par portions d'un lachter (2m,08) de hauteur séparées les unes des autres par des rouets sur lesquels reposent deux traverses parallèles en chêne, lesquelles sont liées les unes aux autres par des barres de fer terminées par de larges pattes courbées d'équerre, qui s'engagent au dessous de la traverse inférieure, saisissent en dessus la traverse supérieure, et sont serrées avec des coins. Ces barres que l'on enlève, quand le puits est terminé, établissent une solidarité générale entre toutes les portions de maçonnerie séparées les unes des autres par les rouets.

En continuant de la même manière, on bâtit et on enfonce successivement dans le sol les portions de maçonnerie exécutées, jusqu'à ce que l'on arrive à des bancs de roche solide qui puissent supporter le poids de toute la maçonnerie, et dans lesquels on continue alors l'approfondissement du puits en le muraillant s'il est nécessaire, par portions successives, de haut en bas, suivant le procédé ordinaire qui sera décrit plus loin.

On doit surtout avoir soin, dans les travaux du genre de celui qui

vient de nous occuper, que l'enfoncement de la tour en maçonnerie ait lieu bien verticalement. Il faut, en conséquence, tenir des fils à plomb suspendus à la partie supérieure, et quand l'enfoncement n'a pas lieu verticalement, on y pourvoit en creusant sous le rouet du côté où la tour s'enfonce le moins.

Il faut aussi, avant de procéder à l'enfoncement, avoir soin de sonder avec une barre de fer pointue le terrain au dessous du rouet, de manière à s'assurer s'il n'existe pas de gros fragments de quartz ou autres roches dures qui émousseraient l'anneau tranchant et empêcheraient l'enfoncement de la tour. Quand cela a lieu, ou lorsque l'on rencontre un banc d'argile solide, il est prudent d'arrêter le travail; d'approfondir le puits en dedans de la maçonnerie de 30 à 40 pouces, jusqu'au dessous des pierres qui forment l'obstacle, ou de la couche d'argile dure. On pose un cadre sur le fond du puits ainsi creusé, et sur ce cadre des étais courts supportant des traverses horizontales qui s'engagent sous le rouet et soutiennent toute la tour. On enlève alors les grosses pierres au dessous du rouet, ou bien on creuse, dans la couche d'argile, jusqu'à un pouce au delà de l'anneau tranchant: on peut alors procéder à l'enfoncement, en creusant au-dessous du cadre porteur qui s'enfoncera sous la tour, *fig.* 16. On pourrait même se dispenser de placer un cadre, si l'obstacle provenait d'une couche d'argile dure, parce qu'alors la maçonnerie pourrait être soutenue par de simples étais verticaux placés au dessous du rouet et posés sur des semelles courtes que l'on enfoncerait de la même manière.

Dans le cas où l'on opère dans des terrains très-coulants, on doit prendre des précautions contre une chute trop rapide; pour maîtriser l'enfoncement, on peut lier la maçonnerie par de fortes ancres de fer à des pièces de bois horizontales établies au jour sur des étais verticaux. Si l'on abat les étais, la maçonnerie ne descendra chaque fois que d'une quantité égale à leur hauteur verticale, et si l'on veut remplacer les étais par des étais plus courts, on parviendra à faire descendre la maçonnerie aussi lentement que l'on voudra. On peut aussi établir au fond du puits un cadre dont deux côtés se prolongent sous le rouet de fondation, de telle sorte que l'enfoncement de ce cadre doive précéder celui de la tour. On augmentera ainsi la résistance à l'enfoncement, autant qu'on le voudra, en augmentant les dimensions des pièces de ce cadre, ou simplement en le posant lui-même sur d'autres semelles en bois, au lieu de le poser sur le sol.

La tour par laquelle on descend dans le tunnel, sous la Tamise, du côté de Rotherhitte, qui a 45 mètres de diamètre intérieur, et un

mètre environ d'épaisseur de murs, a été enfoncée par M. Brunel dans le sol mouvant des bords de la Tamise, par un procédé analogue à celui que nous venons de décrire, avec cette différence que la tour fut construite tout entière en une seule fois, sur une hauteur égale à celle des terrains mouvants, 9 à 10 mètres, et qu'on l'appuya sur des pieux, pour que l'enfoncement ne commençât qu'après son achèvement.

Pour cela on posa le rouet inférieur, armé d'un anneau tranchant, sur les têtes de pieux disposés suivant une ligne circulaire et que l'on avait enfoncés au mouton, de manière que leur ensemble fût capable de supporter un poids plus grand que celui de la tour, et à peu près double de ce dernier. Sur le rouet ainsi établi, on éleva la tour, qui fut construite en briques liées par du ciment romain; des couronnes en charpente furent interposées de distance en distance dans l'épaisseur de la maçonnerie, et reliées entre elles et au rouet fondamental par de forts tirants en fer qui s'étendaient dans toute la hauteur. Quand on fut parvenu à une hauteur égale à l'épaisseur des terrains mouvants supérieurs à l'argile de Londres, épaisseur que l'on avait déterminée d'avance par un sondage ou par des observations sur les puits ordinaires du voisinage, on installa au sommet de la tour une plate-forme portant une machine à vapeur et tout l'attirail nécessaire pour l'extraction des eaux et des déblais; on procéda alors à l'enfoncement. Dans le commencement, il fut possible d'enfoncer à coups de mouton, un certain nombre des pieux sur lesquels le rouet était porté. On avait, à cet effet, laissé déborder les têtes des pieux en dehors de l'anneau tranchant en fer aciéré, dont le rouet fondamental était garni. Le terrain avait été déblayé jusqu'à la plus grande profondeur possible sur tout le pourtour extérieur de la maçonnerie, et on avait installé un assez grand nombre de sonnettes disposées deux à deux aux extrémités de plusieurs diamètres séparés par des distances angulaires égales. On enfonça successivement deux, quatre, six pieux placés par paires aux extrémités d'un même diamètre, jusqu'à ce que les pieux restants cédassent sous le poids de la tour et s'enfonçassent avec elle. On parvint ainsi à la faire enfoncer verticalement jusqu'au point où il devint impossible d'enlever le terrain extérieurement; alors des hommes descendirent dans la tour et déblayèrent le terrain, dans le centre d'abord, puis près de l'enceinte, et même au dessous de la maçonnerie, de façon à découvrir un certain nombre de pieux équidistants sur la circonférence du rouet. Ces pieux furent successivement coupés à coups de hache, sur une petite hauteur, en ayant toujours soin de les couper par paires de deux situés aux extrémités

d'un même diamètre, jusqu'à ce que les pieux restants cédassent sous le poids de la maçonnerie; la tour cessait de descendre quand elle venait s'appuyer de nouveau sur les pieux coupés. On maîtrisait ainsi le mouvement de descente qui se faisait lentement et par parties aussi petites qu'on le voulait. Quelques-uns des pieux s'enfoncèrent intacts sous le poids de la tour, en traversant l'argile solide inférieure.

L'enfoncement de tours en maçonnerie dans les terrains semi-fluides est du reste une opération que l'on pratique très-rarement, pour l'ouverture de puits de mines; outre qu'elle n'est pas sans difficultés, il arrive presque toujours que le terrain est ébranlé dans un rayon assez considérable autour du puits; cela augmente l'affluence d'eaux qui arrivent dans la fosse, et oblige en outre à aller chercher les fondations de la maçonnerie à une plus grande profondeur, quand les terrains inférieurs aux sables fluides sont des argiles ou des marnes et non des roches absolument dures.

Creusement des puits dans des couches de sables coulants, situés à des profondeurs quelconques. — Quand on rencontre des bancs de sables coulants ou autres terrains sans consistance et aquifères à de grandes profondeurs, au dessous de couches solides déjà percées, les difficultés sont encore plus grandes. Si l'on voulait employer l'un des procédés décrits précédemment, et usités pour la traversée des terrains semi-fluides voisins de la surface, on serait obligé de diminuer beaucoup le diamètre du puits déjà exécuté dans les terrains solides; l'espace rétréci dans lequel on serait obligé de travailler, l'épuisement des eaux devenu plus difficile avec la profondeur seraient d'ailleurs autant de causes d'embarras considérables. On a eu des travaux de ce genre à exécuter dans le creusement de quelques puits du département du nord (Concessions de la compagnie d'Anzin), sur des points où le tourtia inférieur aux dièves était remplacé par un sable désagrégé et aquifère. On commença par assécher les sables, en poussant au dessous d'eux une galerie souterraine prise dans le terrain houiller à partir d'un puits creusé sur un point où le tourtia était solide, et sur lequel on avait installé une forte machine d'épuisement. Le banc de sable mouvant, appelé dans le pays le *torrent*, fut mis en communication avec cette galerie par plusieurs trous de sonde verticaux, creusés de bas en haut à partir de la galerie, et qui reçurent les eaux provenant des sables. Un fait remarquable, c'est que les eaux du *torrent* ne communiquent point avec celles des niveaux supérieurs aux dièves; on a constaté, en effet, lors du creusement du puits de la Sentinelle, qui atteignit le *torrent*, avant qu'il fût saigné par les trous de sonde, que le niveau hydrostatique des

eaux rencontrées dans ces sables, était de 12 mètres au moins plus bas que le niveau hydrostatique des nappes supérieures aux dièves. Une autre différence, également très-remarquable, consiste en ce que les eaux du torrent contiennent une quantité notable de sels et notamment de sel marin, tandis que les eaux des niveaux supérieurs sont sensiblement pures (1). Après que les eaux du torrent eurent été saignées par plusieurs trous de sonde qui les conduisaient dans la galerie inférieure, et de là au puits d'épuisement, il fut possible d'approfondir le puits du Temple dont le creusement avait été abandonné depuis plusieurs années, par suite des difficultés qu'avait présentées le passage des sables mouvants. La partie supérieure du puits était garnie d'un cuvelage en bois, jusqu'au dessous des nappes existantes dans le terrain de craie, et d'un muraillement en briques sur la hauteur des couches non aquifères inférieures, et particulièrement des dièves situées à la base du terrain crétacé. Ce muraillement reposait sur un rouet en charpente solidement colleté, établi à la base des dièves ou dans la partie non désagrégée du tourtia, enfin le plus près possible des terrains mouvants. On établit au fond du puits, et en dessous de ce rouet, une trousse semblable aux trousses picotées, avec cette différence que ses côtés étaient assemblés entre eux à tenon et mortaise, et qu'elle était armée d'un anneau en fer tranchant fixé à son contour extérieur. On enfonça cette trousse dans le terrain mouvant à l'aide de vis de pression qui s'appuyaient sur le rouet supportant la maçonnerie supérieure, vis analogues à celles dont on se sert dans le Nord, pour resserrer les joints horizontaux des pièces de cuvelage. Aussitôt que l'enfoncement de la trousse tranchante était suffisant, pour que l'on pût loger entre celle-ci et le rouet supportant la maçonnerie, une trousse de cuvelage, on mettait celle-ci en place; elle pouvait être liée par des bandes de fer, soit au rouet fixe colleté supérieur, soit à la trousse tranchante. Dans le premier cas, on enfonçait celle-ci isolément au moyen des vis de pression pour lesquelles on prenait un point d'appui solide sur la maçonnerie supérieure ou sur des moises en bois encastrées dans cette maçonnerie, jusqu'à ce que l'on pût établir une seconde trousse de cuvelage, au dessus d'elle et au dessous de la première trousse. Dans le second cas on enfonçait à la fois la trousse tranchante et la trousse posée dessus.

---

(1) Le torrent d'Anzin nous offre l'exemple d'une nappe d'eau ayant un niveau hydrostatique plus bas que celui de nappes situées au dessus d'elles, fait dont nous avons indiqué la possibilité dans le chap. II, relatif aux puits artésiens.

Ecoulement des eaux affluentes par un trou de sonde, au moyen d'un siphon. — Les eaux étaient épuisées à la manière ordinaire par des pompes installées dans le puits, ou par des tonnes. Elles étaient peu abondantes, à cause de la précaution qu'on avait eue de saigner les sables. On aurait pu, en supposant que l'axe du puits fût dans une verticale qui rencontrât la galerie souterraine inférieure, faire précéder le creusement du puits par un trou de sonde foré dans son axe et percé jusqu'à la galerie. Ce trou de sonde, tubé sur toute la hauteur des sables mouvants avec une ligne de tuyaux en tôle ou en fonte de fer assemblés à vis, de manière à pouvoir être désassemblés, à fur et mesure du creusement, aurait reçu les eaux, non pas directement, mais au moyen d'un siphon passant par dessus le bord supérieur du tube de retenue qu'on aurait toujours laissé en saillie au dessus du fond du puits, pour qu'il ne s'encombrât pas de sables. La longue branche du siphon eût été engagée dans le trou de sonde, et la branche la plus courte dans un petit puisard ménagé au fond de l'excavation, et dont les parois eussent été au besoin soutenues par un coffre. Le procédé que j'indique ici a été employé fréquemment pour la traversée des terrains mouvants du district de Tarnowitz.

Creusement dans des terrains tout à fait coulants. — La méthode suivie à Anzin, pour la traversée du torrent, serait inapplicable si les sables ne pouvaient pas même se soutenir sur une hauteur de $0^m,16$ à $0^m,20$ au moins, égale à celle d'une trousse de cuvelage. Mais en supposant les sables encore plus fluides, il suffirait, pour les traverser, d'enfermer la trousse que l'on enfonce dans le terrain, dans une armature en fer appliquée sur son contour extérieur, et présentant la forme d'un prisme droit circonscrit à cette trousse. Cette armature se terminerait en dessous par un bord tranchant et fortement aciéré, recourbé en dehors; en dessus elle s'élèverait de 30 à 40 centimètres au dessus de la face horizontale supérieure de la trousse, de manière que, quand celle-ci serait écartée des pièces de cuvelage déjà mises en place, d'une distance égale à la hauteur d'un nouveau cadre de cuvelage, le terrain fût soutenu par la partie supérieure de l'armature, dont les bords seraient encore engagés derrière les pièces de cuvelage déjà établies et suspendues aux parties supérieures du revêtement. La disposition précédente est analogue à celle du bouclier dont on a fait usage, pour l'excavation de la grande galerie sous la Tamise. Pour empêcher les sables trop fluides de remonter, la surface de la trousse armée et tranchante pourrait être divisée, par un système de traverses en fer ou en bois, en comparti-

ments disposés de manière à recevoir des volets en planches, ou en tôle, qui s'appliqueraient contre le terrain. Enfin il faudrait que les segments composant les cadres du cuvelage fussent assemblés entre eux, puisque ces cadres devraient être suspendus aux parties supérieures du revêtement, et il est en outre évident qu'il vaudrait mieux faire usage de rouets circulaires que de cadres de forme polygonale.

Difficultés occasionnées par la nécessité d'épuiser les eaux. Emploi possible du sas à air de M. Triger. — Toutes les difficultés tenant à la nature semi-fluide du terrain seraient certainement surmontées par l'application intelligente des procédés indiqués ci-dessus; l'opération ne pourrait être entravée que par la trop grande affluence d'eaux, eaux d'autant plus difficiles à épuiser qu'elles seraient chargées de sables et de matières limoneuses, ce qui arrêterait souvent le jeu des clapets des pompes d'épuisement. Si on pouvait les faire couler par un trou de sonde dans une galerie inférieure, qui les conduisît à un puisard où elles seraient reprises, après avoir déposé une partie des matières qu'elles tiennent en suspension, par une machine d'épuisement, il ne faudrait pas manquer de recourir à ce moyen déjà mis en pratique à Ansin, où le peu d'étendue des sables en surface horizontale a permis de saigner ainsi le terrain mouvant et aquifère. Dans les localités où cela serait impossible, l'appareil de M. Triger pourrait, dans quelques cas, être d'un secours efficace. Nous concevons que cet appareil devrait être installé à la base des terrains supérieurs non aquifères, ou déjà consolidés par un revêtement imperméable. Si les ouvriers pouvaient travailler dans de l'air assez comprimé pour refouler à peu près complétement les eaux dans le terrain, il n'y aurait plus de difficultés. Si la pression de l'air devait être trop considérable, on mettrait à profit la possibilité d'élever les eaux qui arriveraient au fond du puits, par un tuyau d'ascension traversant le sas à air. On ménagerait l'introduction de l'air dans ce tuyau, par une ouverture latérale, réglée à volonté par un robinet, de façon à ce que l'air se mêlât à l'eau dans une proportion suffisante pour soulever la colonne, non pas jusqu'au jour, mais seulement jusqu'à un réservoir latéral au puits, creusé d'avance dans les terrains non aquifères, et où les eaux seraient reprises par des machines ordinaires d'épuisement. La pression modérée de l'air au fond du puits diminuerait déjà l'affluence des eaux, qui demeurerait sans doute à peu près proportionnelle à la racine carrée de l'excès de hauteur du niveau hydrostatique des eaux contenues dans le terrain, au-dessus de la colonne d'eau qui mesurerait l'excès de pression de l'air comprimé dans le puits, sur

la pression atmosphérique. Enfin l'épuisement se ferait ainsi par un simple tuyau, n'ayant aucune pièce mobile, ce qui permettrait d'élever des eaux très-chargées de sables ou de limons, sans que l'appareil fût dérangé. Il faudrait vraisemblablement donner au tuyau d'ascension un assez faible diamètre, afin que l'air mêlé avec l'eau ascendante ne pût pas trop facilement se dégager de la colonne liquide, pour se porter au haut du tuyau. Il résulterait de là une augmentation notable des frottements, et sans doute le travail moteur dépensé serait beaucoup plus considérable que celui qui correspondrait à l'eau élevée, tant à cause des résistances provenant de la pompe à air qui servirait d'intermédiaire entre le moteur et l'eau à épuiser, que par suite du mode d'élévation de l'eau. Néanmoins on pourrait parvenir, en réglant convenablement, d'après l'expérience, le diamètre du tuyau ascensionnel, et surtout l'orifice par lequel l'air y pénétrerait pour se mêler à l'eau, à rendre ce système tolérablement bon comme machine. D'ailleurs l'excès de travail dépensé serait compensé en tout, ou en partie, par la diminution du volume des eaux affluentes due à la pression de l'air sur les parois du puits.

Muraillement des puits.

Matériaux dont on fait usage pour le muraillement des puits. — Le muraillement est généralement employé de préférence au boisage, pour soutenir les parois des puits qui doivent demeurer ouverts pendant plus de six à sept ans, et presque tous les puits d'une profondeur un peu considérable sont dans ce cas. Les matériaux dont on fait usage sont, comme pour le muraillement des galeries, les pierres brutes ou simplement dégrossies, le moellon piqué, les briques; fort rarement et seulement pour quelques arceaux, la pierre de taille. Ces matériaux sont liés par des mortiers qui doivent être hydrauliques, ou même par des ciments, quand ils doivent contenir les eaux. Lorsqu'au contraire le terrain n'est point aquifère et n'exerce pas une forte poussée, ils sont employés sans mortier, et les vides sont remplis avec de la mousse et de petites pierres.

Revêtements en maçonnerie et corrois d'argile près de l'orifice. — Les puits verticaux sont presque toujours muraillés près de leur orifice, à travers les terres superficielles ou les roches décomposées, et jusqu'au rocher solide. Ce revêtement doit être imperméable, afin de prévenir la chute dans le puits des eaux qui s'infiltrent à travers les terres. On obtient ce résultat, soit en construisant un muraillement avec des pierres de choix et un bon mortier hydrau-

lique, soit en établissant en arrière du muraillement, entre celui-ci et le terrain, une enceinte ou corroi en terre argileuse fortement pilonée. Cette dernière méthode est généralement usitée dans le terrain houiller du département de la Loire. Après avoir ouvert le puits jusqu'au roc solide, sur des dimensions suffisantes pour contenir le muraillement et le corroi d'argile, le terrain étant soutenu au besoin par un boisage provisoire, on entame le rocher et l'on dresse à sa partie supérieure, le pourtour circulaire ou elliptique sur lequel sera assise la maçonnerie (*fig.* 17, *Pl. XVII*). Celle-ci est ordinairement exécutée en grès houiller piqué; les pierres ont 0m,50 d'épaisseur et sont liées par un mortier de sable et de chaux moyennement hydraulique. A mesure que le muraillement s'élève, on tasse de l'argile entre lui et le terrain, sur une épaisseur de 0m,50 à 0m,60, jusqu'au niveau du sol. La maçonnerie est montée de 3 à 4 mètres au dessus de celui-ci, et on l'entoure de remblais provenant pour la plus grande partie du creusement ultérieur du puits, afin de former une plate-forme qui facilite le déchargement de la houille, en exhaussant l'orifice du puits.

Voici le détail des dépenses occasionnées par le muraillement avec corroi en argile d'un puits creusé près de Firmini (Loire), et qui avait traversé un terrain d'alluvion recouvrant le grès houiller sur une épaisseur de 9 mètres. Le diamètre intérieur était de 2m,66; l'épaisseur de la maçonnerie, de 0m,50.

Les pierres brutes tirées d'une carrière située dans le voisinage immédiat, furent rendues au bord du puits à raison de 1 fr. 345 le mètre carré de parement vu, et coutèrent pour

	fr.	c.
88m.carr., 13.	118	55
Chaux hydraulique de Sury à 1fr.,745 par mètre carré de parement.	154	»
Sable (pour mémoire). Il fut retiré du terrain d'alluvion déblayé, par un tamisage.		
Main-d'œuvre pour dégrossissage de la pierre à la pointe, et pose au tourniquet à 1fr.,474 par mètre carré.	127	60
Menues dépenses, usure des bennes, cordages, entretien et usure des outils.	39	20
Total.	439	55

Ce travail fut fait en trois semaines par quatre hommes, ou en 72 journées de travail sur lesquelles 11 1/4 furent employées au choix et chargement des pierres.

La maçonnerie revint à 4 fr., 985 le mètre carré de parement vu, ce qui est équivalent à 9 fr., 97 par mètre cube.

La confection du corroi circulaire en argile sur 0m,50 d'épaisseur coûta, savoir :

	fr.	c.
Pour extraire la terre, 23 journées de manœuvre à 1 fr. 50 c.	34	50
18 journées 2/3 d'un cheval et d'un voiturier à 4 fr. 25 c.	80	»
Mise en place et pilonage de la terre à la journée. 3 hommes furent employés à ce travail pendant trois semaines. Deux, employés au pilonage, recevaient 2 fr. 50 c. par jour; le troisième, employé au jour, recevait 1 fr. c.	117	»
Gratification après l'achèvement du travail. . . .	22	80
Total.	254	30

Et par mètre carré de parement intérieur du puits, 2 fr., 886.

Lorsque les puits ou les portions de puits dont on veut soutenir les parois par un revêtement en maçonnerie ne sont pas fort profonds ou à parois très-ébouleuses, on procède en suivant la méthode indiquée ci-dessus, c'est-à-dire que l'on fonce le puits jusqu'au rocher solide, à travers les assises ébouleuses, en soutenant celles-ci par un boisage provisoire; après avoir dressé dans la roche le pourtour sur lequel doit être assise la maçonnerie, on exécute celle-ci, en procédant de bas en haut, et en une seule fois. Il faut avoir soin, à mesure que la maçonnerie s'élève, d'enlever, autant que possible, les boisages, et de remblayer complétement entre la maçonnerie et le terrain.

Arceaux fondamentaux établis à la base d'un muraillement. — Lorsque la roche, solide d'ailleurs sur la plus grande partie du pourtour du puits, est cependant, sur une médiocre étendue, décomposée ou fissurée, et n'offre pas la solidité convenable pour supporter le poids de la maçonnerie, on peut jeter au dessus de la partie qui manque de solidité, un arceau dont les naissances reposent sur des coussinets taillés dans le roc solide. Cet arceau est construit en pierres de taille, ou au moins en pierres de choix auxquelles on donne la forme appropriée. Il est ordinairement surbaissé, afin que la pression aux naissances de la voûte soit dirigée vers l'intérieur du terrain massif; les pierres sont d'ailleurs taillées ou dégrossies comme elles doivent l'être pour un berceau qui pénètre une tour cylindrique, ou même un mur plan, sauf à raccorder

progressivement un peu au dessus de l'arceau le muraillement plan avec le muraillement circulaire ou elliptique de la partie supérieure.

Voûtes renversées établies au fond de puits creusés dans un terrain peu résistant. — Dans des cas très-rares, mais qui se sont présentés sur plusieurs points du district de Tarnowitz, en Silésie, le puits étant foncé tout entier dans un terrain ébouleux, et même mouvant, on a été obligé d'asseoir le revêtement en maçonnerie sur les bords d'une voûte renversée, en dôme ou en berceau, que l'on a construite au fond du puits. Une voûte renversée en berceau est plus facile à construire qu'une voûte en dôme. Si le puits est elliptique, l'axe du berceau est dirigé suivant le grand axe de l'ellipse; le diamètre du berceau est un peu moindre que le petit axe, à ses deux extrémités le berceau est fermé par deux murs plans que l'on raccorde avec la partie verticale de la maçonnerie. De semblables constructions sont très-rarement nécessaires ; la voûte renversée étant d'ailleurs fort difficile à construire, nous pensons qu'on pourrait y suppléer, presque toujours, en établissant au fond du puits un grillage en fortes pièces de bois de chêne, sur le pourtour duquel s'élèverait la maçonnerie, et qui serait chargé, soit d'un pavé, soit d'une couche de béton de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur, dans la partie centrale correspondante au vide intérieur du puits.

Construction des muraillements par parties successives assises sur des cadres ou rouets en charpente. — Le plus ordinairement le muraillement des puits verticaux s'exécute par parties, de haut en bas, à fur et mesure que le puits s'approfondit. Les tronçons de maçonnerie successifs reposent sur des rouets ou des cadres en charpente colletés au ferme, c'est-à-dire serrés par des coins de bois contre le terrain, lorsque la nature de celui-ci le permet, ou suspendus par des tirants en bois ou en fer, soit aux rouets supérieurs déjà placés, soit à de longues pièces de bois étendues sur le sol à l'orifice du puits, lorsque le terrain n'offre pas une résistance suffisante pour un colletage serré des rouets. Cette méthode a l'avantage de dispenser presque complétement du boisage provisoire. Elle est usitée exclusivement dans les mines du département du Nord, de la Belgique et de l'Angleterre. L'interposition des rouets en charpente dans la maçonnerie ne nuit pas sensiblement à la solidité de celle-ci.

Nous empruntons à un mémoire de M. Turbert, imprimé dans les *Annales des Mines*, les détails suivants sur le muraillement des puits dans le département du Nord.

Après avoir traversé les terrains aquifères, on a encore à percer,

avant d'arriver au terrain houiller, une épaisseur considérable de marnes et d'argiles, et le conglomérat désigné sous le nom de *tourtia*. Les puits sont revêtus d'un muraillement en briques, tant dans le terrain houiller que dans l'étage inférieur des terrains crétacés qui le recouvrent. Les briques dont on fait usage sont rectangulaires ou trapézoïdales; les premières ont les dimensions suivantes:

Longueur $0^m,25$, largeur $0^m,10$, épaisseur $0^m,06$.

Les briques trapézoïdales employées pour des puits de $2^m,90$ à 3 mètres de diamètre, ont $0^m,10$ de largeur à la petite base, et $0^m,117$ de l'autre côté, avec la même longueur et la même épaisseur que les briques rectangulaires.

Le mille de briques rectangulaires fabriquées près de la fosse revient à 8 fr.; les briques trapézoïdales reviennent à 9 fr. le mille.

Ces briques sont liées par un mortier composé de chaux grasse, de cendres de houille et de brique pilée, par parties égales en volume, qui coûte, dans les environs de Valenciennes, de 0 fr., 70 c. à 0 fr., 90 l'hectolitre. Il en faut 4 hectolitres par millier de briques à poser, et il entre environ 600 briques dans un mètre cube de maçonnerie (le volume de 600 briques rectangulaires des dimensions indiquées ci-dessus est seulement de $0^{m.\,cub.},828$; le reste ou $0^{m.\,cub.},172$, est rempli par le mortier). Pour des puits de $2^m,90$ à 3^m de diamètre, on donne très-rarement au revêtement plus d'une brique, c'est-à-dire $0^m,25$ d'épaisseur.

Les rouets en charpente sur lesquels on asseoit les tronçons de maçonnerie ont une épaisseur de $0^m,18$, et une largeur de $0^m,35$ environ dans le sens des rayons. Ils sont formés de plusieurs segments ou voussoirs dressés et ajustés comme le sont les pièces de cuvelage; ils sont ordinairement espacés de 6 en 6 mètres environ.

On établit un rouet semblable à 4 ou 5 mètres au dessous de la trousse colletée qui forme l'assise inférieure du cuvelage, on dresse le terrain avec le même soin qu'on le ferait pour une trousse colletée du cuvelage. On collette très-serré le rouet en charpente, en enfonçant des coins entre son contour extérieur et le terrain. On élève ensuite par dessus la maçonnerie de briques, et l'on a soin de garnir avec soin tous les vides en arrière de cette maçonnerie, entre elle et le terrain.

On place entre ce premier tronçon de maçonnerie, et la trousse colletée servant d'assise au cuvelage, un rouet mince en charpente qu'on appelle *roue à gargouille*. Cette roue est saillante dans l'intérieur du puits de quelques centimètres, et son bord saillant est creusé en gouttière annulaire dite *gargouille* destinée à recevoir les eaux

qui filtrent à travers le cuvelage. On serre avec soin la roue à gargouille entre la maçonnerie et le dessous de la trousse colletée supérieure; on garnit ses bords d'une lame de fer mince, pour que les tonnes ne puissent pas s'y accrocher en montant, ou se poser dessus en descendant. L'eau réunie dans la gargouille est conduite par un petit tuyau qui y est adapté, dans une caisse en bois appliquée contre les parois du puits, qui doit l'amener au réservoir inférieur, creusé latéralement au puits; dans les dièves ou argiles tout à fait imperméables.

Après avoir achevé le muraillement de cette partie du puits, on continue de la même manière, en établissant des rouets de charpente semblables au premier, et également colletés au ferme de 6 mètres en 6 mètres environ. Quelques-uns sont à *gargouille*, c'est-à-dire qu'ils font saillie en dedans du puits et qu'une gouttière ou gargouille creusée sur cette saillie reçoit les eaux de filtration, qui de là sont conduites par un bout de tuyau dans une caisse verticale en bois fixée aux parois du puits.

Sur toute la hauteur des terrains aquifères, et jusqu'à 20 ou 25 mètres au dessous de l'assiette du cuvelage, une cloison verticale en planches isole du reste du puits, un segment dans lequel sont installées les échelles pour l'entrée et la sortie des ouvriers. Cette cloison doit être imperméable à l'air, parce que la division en deux compartimens doit aussi servir à l'aérage. Elle est donc formée de planches jointives, clouées contre des traverses horizontales en bois, qui sont posées et fixées sur des goussets cloués aux pièces du cuvelage, dans la partie cuvelée, et reposent par leurs extrémités, dans l'épaisseur de la maçonnerie, là où le puits est revêtu en briques. Les *fig.* 1 à 4, *Pl. XVIII*, représentent cette cloison qui se termine à sa partie inférieure par un plan incliné, *fig.* 3, qui doit se raccorder avec les parois du puits, pour que les tonnes ne s'y accrochent pas. Les échelles de descente, placées dans le petit compartiment du puits, sont inclinées et posées sur des planchers distants de 10 mètres. Chacun d'eux est percé d'un trou suffisant au passage d'un homme, *fig.* 2. La *fig.* 3 représente la partie inférieure de la cloison dans la partie muraillée. MN représente l'entrée d'une galerie percée dans les argiles, et qui aboutit à de petits puits intérieurs, verticaux ou inclinés, par lesquels les ouvriers arrivent jusqu'au fond de la mine. Pour ménager l'entrée de la galerie, et éviter des constructions compliquées en maçonnerie, on établit sur un rouet en charpente, colleté et placé au niveau du sol de la galerie de passage, un châssis en bois, formé de deux montants verticaux, d'un seuil et d'un chapeau taillés suivant

la courbe circulaire de la section du puits, et dépassant les montants verticaux de 20 à 25 centimètres.

La *fig.* 5 représente le châssis en bois placé dans la maçonnerie pour ménager l'entrée d'une autre galerie dite *bowette à bleus*, et destinée à recevoir les eaux qui filtrent à travers le cuvelage. Son entrée correspond au grand compartiment du puits, celui dans lequel circulent les tonnes; elle est ouverte à une petite distance verticale au dessous d'une roue à gargouille, et dans un banc d'argile bleue solide et imperméable. On lui donne ordinairement 1m,50 de largeur et de hauteur.

A une petite distance de la paroi du puits, on établit une digue en bois destinée à retenir les eaux. Elle est composée d'un châssis formé d'un seuil et de deux montants verticaux, dans le milieu desquels sont creusées des rainures qui reçoivent les extrémités de planches assemblées à rainure et languettes. On loge le châssis dans une entaille faite sur le sol et les parois latérales de la galerie; on garnit le vide restant entre le bois et les bords de l'entaille avec de l'argile grasse; on met ensuite en place les planches dressées dont on a soin de calfater les joints. La digue a 1m,40 de hauteur verticale; un tuyau de fer-blanc de 0m,03 de diamètre logé dans le terrain conduit les eaux de la gargouille supérieure dans la galerie, en arrière de ce batardeau. On épuise ces eaux, quand il en est besoin, en ouvrant un robinet adapté à la partie inférieure du batardeau, et garni d'un boyau en cuir assez long pour les conduire dans une tonne suspendue au câble de la machine à molettes, et qu'un ouvrier placé sur le devant de la bowette, où il est descendu d'avance, a amarrée par un bout de chaîne, à un crochet en fer fixé dans un des montants verticaux du châssis établi à l'entrée.

Le puits est creusé et muraillé de la même manière jusqu'au fond. Il est fort rare que le muraillement ait plus d'une brique d'épaisseur. Cependant, quand les dièves sont sujettes à se gonfler, on lui donne une brique et demie d'épaisseur.

Les prix payés ordinairement dans le Nord pour le foncement d'un puits sont, d'après M. Turbert, comme suit:

Pour un puits de 2m,90 de diamètre, on paie par mètre courant, à prix fait.

	fr.	c.
Dans les argiles, marnes et dièves inférieures au niveau.	50	»
Dans les schistes houillers.	60	»
Dans les grès houillers ordinaires.	80	»

La pose des rouets en charpente, des gargouilles et la façon du mu-

raillement sont à la charge des entrepreneurs. On estime la main-d'œuvre nécessaire pour ces travaux à 7 fr. par mètre courant. Les ouvriers ne se fournissent que la poudre; les outils et l'extraction des déblais sont à la charge du propriétaire de la mine.

Quatre hommes travaillant constamment au puits, et se relevant par postes de six heures, peuvent avancer de 18 mètres par semaine, dans les argiles et les dièves, et de 10 mètres par semaine, dans le terrain houiller.

Les matériaux nécessaires pour la maçonnerie coûtent par mètre cube de maçonnerie :

Pour 600 briques, à 9 fr. le 1000	5 40
Pour 2hectol., 4 de mortier, à 80 c.	1 92
Total par mètre cube.	7 32

Le mètre courant de puits sur un diamètre de 2m. 90, exige 2m. cubes. de maçonnerie qui coûtent, pour les matériaux, à raison de 7 fr. 32 par mètre cube, 15 fr. 37 c.

Aux frais d'excavation et de muraillement rapportés ci-dessus, il faut encore ajouter le prix des bois pour les rouets en charpente et les frais d'extraction des déblais.

Suspension des rouets à des rouets supérieurs ou à des poutres posées à la surface. — La méthode que nous venons de décrire est celle qu'il convient en général de suivre, pour le revêtement des puits verticaux en maçonnerie, en y apportant toutefois des modifications appropriées aux circonstances locales. Ainsi, les rouets en charpente seront d'autant plus rapprochés les uns des autres que le terrain aura moins de solidité. Si le terrain n'a pas une consistance suffisante pour qu'on puisse charger sans crainte les rouets collétés du poids de la maçonnerie, on les suspendra par des tirants en fer ou en bois, soit à des rouets ou à des traverses en bois posés à un niveau supérieur dans une roche solide, soit à de longues et fortes poutres couchées sur le sol, à l'orifice du puits, et dont les extrémités seront saillantes en dedans de la maçonnerie, pour recevoir les têtes des tirants. Les *fig.* 10, 11 et 12, *Pl. XVI*, représentent le tronçon supérieur d'un puits muraillé ainsi, dans les mines de houille de Cavaillac, près le Vigan (Gard). Le revêtement a été formé de trois tours concentriques en briques posées de manière que les côtés courts des briques fussent dirigés suivant les rayons aboutissant à l'axe du puits, et que les plans d'assises des briques fussent alternés d'une tour à l'autre, de même que les joints verticaux sont alternés d'une assise à l'autre, dans la même tour. La *fig.* 10 est une

section verticale de l'excavation primitive, avant la confection du muraillement. La *fig.* 11 est une section horizontale par un plan situé au niveau du sol naturel. La *fig.* 12 est la section verticale de la partie supérieure du puits, après le muraillement. On voit que la maçonnerie s'élève au dessus de la surface du sol et qu'elle est traversée par les pièces de bois *a*, *a*, *a*. Les tirants auxquels sont suspendus les rouets sont fixés aux extrémités de ces pièces qui font saillie dans l'intérieur du puits, *fig.* 12.

Des cuvelages en maçonnerie. — Lorsque les terrains sont aquifères, et que l'on veut contenir les eaux par le muraillement, qui devient alors un cuvelage, on doit remplacer les rouets colletés par des rouets picotés jusqu'au refus, suivant la méthode usitée pour les cuvelages en bois. Il faut faire usage de briques choisies avec un soin particulier, et d'un mortier composé de sable quartzeux et chaux très-hydraulique, ou mieux encore de ciment romain. Pour que les eaux ne gênent pas, pendant l'érection du revêtement en maçonnerie, on peut ménager dans l'épaisseur du rouet en charpente, un ou plusieurs trous qui communiquent avec une gouttière ou gargouille creusée sur la face supérieure du rouet, dans la partie annulaire qui déborde extérieurement l'épaisseur du muraillement. Les eaux coulent par ces trous, pendant que l'on élève la maçonnerie, et n'empêchent pas le mortier de faire prise. On garnit les vides entre la maçonnerie et le terrain, avec des pierres ou autres matériaux en fragments assez gros, pour que les eaux qui découlent du terrain puissent arriver à la gargouille. On bouche les trous ménagés dans le rouet, avec des tampons de bois retenus par des brides en fer, après qu'on a laissé au mortier le temps de faire prise. Il est même convenable, quand on a fait usage de mortier hydraulique, d'interrompre le creusement, après que chaque portion du revêtement est terminée, et de laisser remonter les eaux dans le puits, pour favoriser la prise du mortier. Cette précaution serait inutile, si on employait du ciment romain.

Au surplus, il paraît difficile de rendre les cuvelages en maçonnerie, aussi étanches que les cuvelages en bois ou en fonte de fer, à moins qu'on ne fasse usage de *ciment romain* ou de chaux éminemment hydraulique. Peut-être même y aurait-il quelques difficultés à établir une liaison imperméable aux eaux, entre les rouets en charpente et la maçonnerie, dans le cas où on emploierait des mortiers très-hydrauliques. Nous conseillerons en conséquence, de construire de préférence des cuvelages en bois dont l'efficacité est certaine, ou au moins de faire usage de ciment romain qui, pour des

ce genre, paraît préférable aux meilleurs mortiers de ulique.

ments en pierres. Arceaux en maçonnerie.—L'usage de u de briques, pour construire les revêtements, n'apporte ification dans les procédés que nous venons de décrire. Les le désavantage d'être moins facilement maniables, et de se s bien à l'exécution de revêtements à section circulaire e. Aussi adopte-t-on souvent une section rectangulaire pour raillés en pierres. Dans ce cas, les rouets en charpente cés par des cadres rectangulaires qui doivent être égale- és au ferme. Lorsque le terrain traversé est composé de consistance variable, et renferme plusieurs assises de roche peut remplacer les cadres en charpente colletés, par des rbaissés construits avec des pierres de choix, dont les pénètrent assez avant dans le massif de roche où le cavé, et reposent sur des plans taillés et dressés dans la arceaux fondamentaux supportent le poids de la ma- périeure, dont les parties inférieures du revêtement sont rgées. Quelquefois même, au lieu de composer le revête- arois d'assises horizontales de maçonnerie, on le compose ntrées qui forment autant d'arcs de voûtes superposés les tres, et qui viennent s'appuyer aux naissances contre la parois perpendiculaires à celle contre laquelle le murail- appliqué. Ce genre de construction, dont on trouve des n Allemagne, et qui est indiqué dans le *Traité d'exploi-* Delius, est d'une construction compliquée, coûteuse par t, et ne paraît pas devoir être plus solide que celui qui se- sé d'assises planes avec interposition d'arceaux de dis- stance.

ement des puits inclinés. — Le muraillement des puits nsiste généralement en un berceau cylindrique appliqué et deux murs verticaux appliqués sur les faces latérales. le aussi quelquefois ces puits *en arceaux saillants, über-springender Bogen* des Allemands. On établit une suite d'arceaux appuyés sur le mur et contenus dans des plans verticaux. Ces arceaux sont établis en retraite les uns au dessus des autres et font ainsi saillie dans l'intérieur du puits ; les naissances des pieds-droits présentent au mur du puits, la forme des degrés d'un escalier, et les arceaux présentent au faîte la forme d'un escalier renversé. Ce mode de muraillement est solide, mais très-cher. Au surplus, on ne creuse guère de puits inclinés que dans des filons dont les épontes, qui ser-

vent au puits de mur et de toit, sont très-solides. Si la matière du filon ne l'est pas, il suffit de soutenir les deux parois par des murs droits, et l'on n'a que très-rarement et par places, besoin de soutenir le toit; dans les endroits où cela est nécessaire, il est plus facile et plus économique de le maintenir par un boisage dont l'exécution est facile, que par un muraillement coûteux et difficile à exécuter.

Les puits inclinés qui servent à l'extraction des minerais sont garnis sur leur mur d'un plancher sur lequel glissent les traîneaux, ou mieux, d'un système de longuerines en bois, sur lesquelles roulent les chariots qui servent à l'extraction. Dans l'un et l'autre cas, le plancher ou les longuerines sont fixées sur des moises transversales posées sur le mur, et dont les extrémités sont appuyées dans des entailles faites dans la roche, ou prises dans l'épaisseur de la maçonnerie des parois.

Dispositions à prendre à l'entrée des galeries de service, et places de chargement ou d'accrochage. — L'entrée des galeries qui aboutissent aux puits d'extraction, doit avoir une forme appropriée au système de roulage et d'extraction mis en usage. Dans tous les cas, le puits est foncé de plusieurs mètres en dessous du sol de la galerie de roulage, afin de former un puisard dans lequel se réunissent les eaux qui sont élevées au jour, soit par des pompes, soit par des tonnes, à moins que ces eaux n'aient un écoulement naturel par une galerie dirigée vers un puits plus profond, ou aboutissant au jour.

L'extraction des minerais, comme nous l'expliquerons avec plus de détails dans le chapitre IX, s'opère au moyen de câbles qui élèvent au jour, les vases mêmes qui ont servi au transport dans les galeries souterraines, ou des tonnes dans lesquelles on verse le contenu de ces vases.

Dans le premier cas, on peut amener les vases remplis de minerais jusque sous le puits, en établissant un plancher qui est au niveau du sol des galeries de roulage, et sur lequel sont posés des rails ou ornières en bois ou en fonte, qui prolongent les voies de roulage souterraines, quand il en existe de semblables dans la mine. Il est alors nécessaire que la galerie aboutissant au puits ait une largeur suffisante pour recevoir deux voies, dont l'une sert au passage des chariots vides qui descendent et l'autre au passage des chariots pleins. Dans le cas où les puits ont un diamètre trop petit pour l'établissement d'une double voie sur le plancher, on y fait aboutir deux galeries à simple voie, qui sont mises en communication à une petite distance. Ces galeries aboutissent ordinairement aux deux extrémités

d'un même diamètre. Dans l'un et l'autre cas, le plancher doit être mobile, s'il y a au dessous un puisard dans lequel les eaux se réunissent. Quand l'épuisement de ces eaux est effectué à l'aide de pompes, les tuyaux aspirateurs traversent, dans des ouvertures ménagées près des parois du puits, le plancher, qu'on lève lorsque le puisard a besoin d'être nettoyé, ou lorsqu'il faut faire quelque réparation aux tuyaux aspirateurs des pompes. Si l'épuisement des eaux était effectué à l'aide de tonnes, il faudrait enlever le plancher, ainsi que les traverses ou moises sur lesquelles il est établi, chaque jour, lorsque l'extraction des minerais serait terminée, ou du moins à des intervalles très-rapprochés. Cette manœuvre serait embarrassante : aussi est-il très-rare que l'on amène les vases pleins jusque sous le puits, et que l'on établisse un plancher destiné à les recevoir, lorsque l'épuisement des eaux s'opère à l'aide de tonnes. Par la même raison, lorsqu'on extrait par un même puits, des minerais de plusieurs niveaux différents, on n'établit pas ordinairement de planchers mobiles au niveau des galeries de roulage, qui viennent aboutir à des niveaux élevés au dessus du fond du puits. Les vases pleins sont alors amenés dans la galerie de roulage jusqu'au bord du puits : les vases vides descendants sont tirés avec un crochet fixé à l'extrémité d'une perche, sur le sol de cette galerie ; on les détache du câble, et on accroche à leur place les vases pleins venus du fond de la mine.

On fait une manœuvre semblable, lorsque l'extraction s'opère à l'aide de tonnes dans lesquelles on verse le contenu des vases qui ont servi au transport souterrain. Mais dans ce dernier cas, afin de faciliter le chargement des minerais dans les tonnes, on tire celles-ci non pas sur le sol de la galerie de roulage, mais sur une petite plate-forme ménagée en avant, et à un niveau assez bas pour que la bouche de la tonne posée sur cette plate-forme se trouve au niveau du sol de la galerie de roulage.

Toutes les fois qu'il n'y a pas de plancher établi sous le puits au niveau des galeries de roulage, il convient d'exhausser l'entrée de celles-ci, et de raccorder leur faîte avec les parois du puits par un pan coupé ou un berceau incliné, afin de faciliter le passage des tonnes du puits dans la galerie, et réciproquement.

Dispositions des places d'accrochage dans les houillères du Nord.— Voici comment sont disposées, dans les mines de houille du Nord, suivant le mémoire déjà cité de M. Turbert, les places d'accrochage aboutissant à des puits de 3 mètres de diamètre environ. *Fig.* 7, 8, 9 et 10, *Pl. XVIII.*

A partir d'une distance de 5 à 6 mètres de la paroi du puits, on

élargit et on exhausse la galerie de roulage qui est revêtue, quand la roche n'est pas complétement solide, d'un muraillement en briques, et voûtée en plein cintre. On donne à ce bout de galerie $2^m,50$ de largeur dans œuvre, et 2,75 de hauteur sous la clef de la voûte.

Près du puits, en avant de la galerie, on taille le terrain suivant une banquette destinée à recevoir les tonnes, et dont la largeur et la hauteur dépendent des dimensions de ces tonnes. Pour celles qui sont employées à Anzin, et qui ont une capacité de six hectolitres, le sol de la banquette a $1^m,15$ de large, et la profondeur au dessous du sol de la place d'accrochage est de $1^m,30$.

Dans la partie qui correspond à cet encaissement appelé *potiat*, le faîte est taillé et voûté au besoin, suivant un berceau cylindrique incliné à 45 degrés, qui se raccorde, d'un côté, avec le muraillement du puits, de l'autre, avec la voûte de la galerie. Les parois latérales et postérieure du potiat sont revêtues d'un muraillement en briques.

A l'aplomb de l'entrée de la place d'accrochage, le muraillement du puits repose sur un chapeau en bois, *fig.* 9 et 10, formé de trois pièces assemblées à tenon et mortaise, savoir une pièce droite à ses extrémités et cintrée au milieu suivant le rayon du puits, et deux pièces latérales cintrées qui prolongent la courbe de la pièce du milieu. Les extrémités droites de la pièce du milieu sont logées dans le terrain, tandis que les deux pièces latérales sont dans la maçonnerie qu'elles affleurent. On donne à la pièce du milieu $5^m,75$ de longueur et $0^m,25$ d'équarrissage. Les pièces latérales ont $1^m,15$ de longueur sur le même équarrissage. Un tablier légèrement incliné vers l'axe du puits, et formé par des planches de $0^m,05$ d'épaisseur, dont les extrémités sont engagées dans des rainures creusées dans deux montants latéraux, ferme le devant du potiat. Des barres de fer plat sont fixées au dessous des pièces latérales du chapeau et scellées à leur autre extrémité dans la maçonnerie, afin de prévenir l'effet des ébranlements occasionnés par les chocs des tonnes montantes.

Le sol de la place d'accrochage est couvert, dans toute son étendue, de plaques de fonte pour que les chariots venant des tailles puissent y circuler dans tous les sens. Les chariots pleins sont poussés jusqu'au bord du *potiat*, où leurs roues viennent buter contre une pièce de bois saillante formant seuil. On vide ordinairement la caisse du chariot dans la tonne, en soulevant cette caisse qui n'est pas invariablement fixée à l'essieu de derrière. Quelquefois la houille venant des tailles est déchargée sur le sol de la place d'accrochage, et reprise à la pelle pour être chargée dans les tonnes d'extraction.

Des dispositions analogues à celles que nous venons de décrire sont

adoptées dans tous les puits d'extraction où les minerais subissent un transvasement, pour passer des galeries dans les puits. Il faut que la roche soit d'une solidité complète, pour qu'on puisse se dispenser de murailler l'entrée de la galerie.

Places d'accrochage dans les puits boisés. — Les puits boisés sont généralement à section rectangulaire, et les places d'accrochage ont une largeur égale au long côté du rectangle. On établit, à la jonction de la place d'accrochage et du puits, un cadre très-fort, composé de deux montants verticaux, d'un chapeau et d'une semelle. Les pièces courtes des cadres de boisage, dont l'un des longs côtés a dû être enlevé, pour laisser libre l'entrée de la galerie, sont appuyées contre les montants latéraux du cadre dont nous venons de parler, et soutenues par des poteaux verticaux appliqués contre les faces de ces montants tournées du côté du puits, de sorte que les montants ne soient pas affaiblis par des entailles. Si l'on veut ménager sur le devant de la place, une banquette destinée à recevoir les tonnes qui circulent dans le puits, le cadre antérieur doit avoir une hauteur égale à celle de la galerie augmentée de la profondeur de cet encaissement. La place d'accrochage est boisée avec des cadres d'un fort équarrissage dont les montants latéraux portent, au besoin, sur des semelles; en arrière de ces cadres, on applique contre le terrain des planches ou des bois de garnissage. Souvent on relie les montants verticaux des cadres par des moises horizontales ou inclinées, qui servent à rejeter, contre le fond de la place d'accrochage, la poussée que le terrain exerce sur les cadres du puits dont un des longs côtés a été enlevé. Le sol de la place est d'ailleurs couvert d'un plancher en bois ou en fonte, sur lequel les chariots puissent circuler facilement.

Le système de roulage et d'extraction usité dans une mine peut au surplus nécessiter des dispositions en rapport avec ce système, et qui diffèrent plus ou moins de celles qui viennent d'être décrites.

Puisards et réservoirs. — Lorsque les puits servent à l'épuisement des eaux, à l'aide de pompes ou de tonnes, il est nécessaire qu'il y ait en dessous des galeries, au niveau desquelles les eaux ne doivent jamais arriver, une excavation dont le cube soit assez considérable, pour recevoir toutes les eaux affluentes, pendant la durée des arrêts de la machine d'épuisement. Souvent l'épuisement s'opère d'une manière intermittente, de sorte que toutes les eaux affluentes en 24 heures doivent être extraites en 8 ou 10 heures. D'autres fois l'épuisement s'opère d'une manière continue; mais les machines étant sujettes à des chômages pour réparations accidentelles, il n'en est pas moins

indispensable que les eaux affluentes pendant ce temps n'arrivent pas jusque dans les galeries. Il faut donc, dans tous les cas, établir au bas des puits où se réunissent les eaux, un réservoir dont la capacité soit suffisante pour que l'épuisement puisse être suspendu sans inconvénient, pendant un intervalle de temps de 24 heures au moins. Il y aurait des inconvénients nombreux et évidents à donner au puisard par lequel le puits se prolonge en dessous du niveau des galeries souterraines une profondeur considérable. Ce puisard n'a généralement pas plus de 5 à 6 mètres de profondeur au dessous du sol des galeries les plus basses qui aboutissent au puits, et si sa capacité est insuffisante, on creuse dans le voisinage du puits une excavation destinée à servir de réservoir. Elle consiste habituellement en une galerie dont le sol est un peu plus élevé que le fond du puisard, et qui est mise en communication avec celui-ci, soit par une galerie de petite section, soit, ce qui est bien préférable, par plusieurs trous de sonde horizontaux ou légèrement inclinés du réservoir vers le puisard, et aboutissant au fond de l'un et de l'autre. Les eaux de la mine sont dirigées vers le réservoir, d'où elles passent dans le puisard par les trous de sonde. Quand elles sont chargées de matières en suspension, comme cela arrive fréquemment, celles-ci se déposent dans le réservoir et dans le puisard qu'il faut vider de temps à autre. Il est alors utile de pouvoir intercepter à volonté la communication qui existe entre eux, ce qui se fait facilement en bouchant les trous de sonde avec des tampons de bois. Pour que ces trous ne soient pas obstrués par les matières terreuses, on peut établir contre la paroi où ils débouchent un encaissement prismatique dont les pièces verticales soient à clairevoie, ou percées de trous, afin qu'elles laissent passer les eaux, tout en arrêtant les matières charriées les plus volumineuses qui s'accumulent alors dans le réservoir. Quand il devient nécessaire de les enlever, on commence par mettre à sec le puisard. Les eaux qui recouvrent le dépôt formé au fond du réservoir, et qui coulent au puisard par les trous de sonde, sont épuisées en même temps. Quand le puisard est complétement à sec, on bouche les trous de communication avec des tampons de bois, et l'on fait arriver directement dans le puisard, les eaux de la mine, que l'on épuise à fur et mesure. Pendant ce temps, on enlève les boues qui encombraient le réservoir, et lorsque cette opération est terminée, on remet les choses dans l'état primitif.

Indépendamment de la facilité que donne la mise en communication par de simples trous de sonde, pour l'enlèvement des boues qui remplissent en partie le puisard et le réservoir, on a encore l'avantage

de ne pas compromettre la solidité du puits, en faisant déboucher une galerie à grande section au fond du puisard.

SERREMENTS

OU DIGUES DESTINÉES A CONTENIR LES EAUX.

Lorsque l'on rencontre, dans l'exploitation des mines, des sources abondantes qui arrivent dans une galerie par les fissures de la roche et qu'on a lieu de croire que ces fissures n'ont qu'une étendue limitée, on isole la galerie où la source se fait jour, du reste des excavations souterraines par une digue appelée *serrement* qui contient les eaux. Celles-ci prennent alors un autre cours, et vont quelquefois sortir au jour, ou à un niveau plus élevé d'où leur épuisement est plus facile. On construit aussi quelquefois de semblables digues dans des galeries dirigées vers d'anciens travaux souterrains remplis d'eaux, avec lesquels on ne veut pas se mettre en communication. Enfin, dans les pays où les puits ont été foncés à travers des *niveaux* ou *nappes d'eaux* que l'on a contenues par des cuvelages, pendant la durée de l'exploitation, comme dans les houillères du nord de la France et des environs de Mons, en Belgique, il est nécessaire, quand un puits est abandonné, de le fermer au dessous des terrains aquifères dans lesquels les cuvelages ont été construits, par une digue très-solide et imperméable aux eaux, afin de n'avoir plus à s'occuper de l'entretien du cuvelage supérieur, et de prévenir l'irruption des eaux supérieures dans le fond de la mine, dans le cas où le cuvelage détruit ne pourrait plus les contenir. Les digues établies ainsi dans les puits verticaux sont appelés serrements horizontaux ou plates cuves.

Serrements droits.—Les serrements que l'on établit dans les galeries sont ordinairement construits en bois de chêne choisi avec beaucoup de soin. On cherche dans la galerie un emplacement où les parois soient solides, compactes et sans fissures. Il est évident que si les parois étaient fissurées, le serrement serait inutile, et n'empêcherait point les eaux de passer. Les *fig.* 1, 2, 3 et 4, *Pl. XIX*, représentent un serrement qui a été exécuté, en 1823, à la mine de Huelgoat (Finistère), pour contenir une source très-abondante que l'on avait rencontrée dans le creusement d'une galerie de recherche horizontale. Les machines d'épuisement étant insuffisantes pour élever jusqu'à la galerie d'écoulement les eaux de cette source, il fallut les

contenir par un serrement. Les parois de la galerie de recherche, à quelque distance en avant de la source, étaient solides et sans fissures. On y pratiqua les entailles représentées dans les *fig.* 1, 2 et 3, dont la première est une section par un plan horizontal, et les deux autres sont des sections par des plans verticaux. Ces entailles ont une face plane et verticale, sur laquelle doivent s'appuyer les pièces du serrement, du côté opposé à celui d'où arrivent les eaux, et sont évasées de l'autre côté, ce qui est nécessaire pour la pose des bois. Toutefois, l'entaille verticale pratiquée dans une des parois latérale de la galerie, est taillée à section rectangulaire; et il suffit d'évaser celle qui est creusée sur la paroi opposée. Les entailles furent faites à la pointe, sans employer la poudre, et dressées avec beaucoup de soin à la règle et au niveau. Les creux qu'on ne put pas éviter furent remplis par du ciment de Parker (*ciment romain*) mélangé d'un volume égal de sable quartzeux fin.

Le serrement est formé de pièces de bois de chêne parfaitement dressées au rabot, dont l'épaisseur doit être d'autant plus grande que la pression des eaux sera plus considérable, et qui ont une longueur égale à la distance des deux fonds verticaux des entailles pratiquées sur les parois latérales de la galerie, diminuée de 4 1/2 à 5 centimètres. On établit d'abord en arrière de l'emplacement préparé pour le recevoir, un batardeau, par dessus lequel les eaux qu'il fallait tenir épuisées s'écoulaient par un canal en bois posé sur des moises ou chevalets. On appliqua contre les deux fonds verticaux des entailles, des planches en sapin *aa*, *bb*, épaisses de 2 centimètres, rabotées sur les deux faces, et garnies sur celle qui était appliquée contre le rocher, d'une forte toile enduite d'un mastic composé d'huile de lin siccative, de chaux éteinte à l'air et tamisée, et de chanvre haché.

La pièce de bois inférieure fut ensuite mise en place, en ayant soin de placer en dessous, sur le fond de l'entaille préalablement bien asséchée, une planche mince garnie sur ses deux faces d'une toile enduite de mastic. Les pièces furent ensuite posées l'une sur l'autre, de niveau, et avec le plus grand soin. Elles étaient appuyées par une de leurs extrémités, contre l'une des planches verticales. Un intervalle de 2 centimètres, destiné à recevoir les picots, restait entre l'autre extrémité et la seconde planche. Toutes les pièces transversales ainsi superposées furent garnies de toiles enduites de mastic sur la face supérieure et la face verticale postérieure tournée du côté de la source. A mesure que deux pièces étaient posées l'une sur l'autre, on exécutait un picotage dans l'espace vide restant entre leurs extrémités et l'une des planches ou lambourdes appliquées contre

les parois latérales. Pendant l'opération du picotage, qui était exécutée absolument de la même manière que celle que nous avons décrite avec détail, en traitant des cuvelages en bois, les pièces étaient maintenues en place par des étais verticaux provisoires appuyés contre le faîte de la galerie ou de l'entaille.

Le picotage étant exécuté du côté d'où viennent les eaux, il est nécessaire de laisser, à la base du serrement des orifices par lesquels les eaux s'écoulent, pendant l'opération, et vers le milieu de la hauteur, une issue par laquelle les ouvriers puissent sortir, quand le travail est terminé. *o*, *o* sont les deux orifices pratiqués pour l'écoulement des eaux, immédiatement au dessus du niveau du sol. Pour ménager l'issue par laquelle les ouvriers sortiront, après l'achèvement, on échancre les deux pièces qui occupent le milieu de la hauteur du serrement, sur une largeur de 44 et une hauteur de 13 centimètres. Les deux échancrures laissent ainsi une ouverture rectangulaire, de 44 centimètres sur 26, qui suffit pour le passage d'un homme. Elle est fermée, après que les ouvriers sont sortis, par un tampon, ou mieux par un gros clapet de bois garni de cuir, suspendu par le moyen de deux équerres en fer à des gonds horizontaux fixés sur la face postérieure du serrement, en dessus de l'échancrure. Le clapet est mis en place d'avance et se ferme de lui-même par son poids, après la sortie des ouvriers. La pression des eaux le maintient d'ailleurs fermé.

Quand on fut arrivé à la pose de la pièce supérieure du cuvelage, on la dressa de manière à ce qu'il restât un espace vide de 2 centimètres entre sa face supérieure et la planche couverte d'une toile mastiquée, que l'on appliqua contre le fond de l'entaille. On remplit cet espace par un picotage horizontal, en même temps qu'on serra la pièce par un picotage vertical exécuté à son extrémité. On remarquera, *fig.* 2 et 3, un tuyau recourbé *u* adapté à l'une des pièces du serrement, et dont la branche verticale vient déboucher à la partie culminante de l'entaille. Il est destiné à évacuer l'air qui se trouve derrière le serrement, à mesure que les eaux s'y accumulent. On a reconnu en effet que de l'air comprimé qui reste emprisonné derrière un serrement est une cause très-active de destruction. La construction du serrement étant achevée, on enfonça des étoupes goudronnées sur la face tournée du côté des eaux entre tous les joints horizontaux. Pour faciliter ce calfatage, l'on avait abattu les arêtes des pièces de chêne sur leur face postérieure. On cloua ensuite des toiles mastiquées par dessus les joints. On mit en place le clapet de fermeture C garni de cuir. Tout étant alors terminé, les ouvriers sor-

tirent par l'ouverture O, et laissèrent tomber derrière eux le clapet qui opéra la fermeture.

Pour consolider cette construction, on établit, à une petite distance, en avant, plusieurs traverses horizontales reposant par leurs extrémités dans des entailles faites dans le roc, et sur lesquelles s'appuient des pièces de bois parallèles à l'axe de la galerie, qui viennent buter contre des poteaux verticaux appliqués contre la face extérieure du serrement. On laissa ensuite monter les eaux. Il suffit, pour cela, de boucher d'abord les trous *o*, *o*, et ensuite l'orifice du tuyau recourbé *u*, lorsque celui-ci donna de l'eau à plein, ce qui annonça que la totalité de l'air était évacuée.

Serrements droits à plans d'assise obliques. — Les *fig.* 5, 6 et 7, *Pl. XIX*, représentent un serrement décrit par M. Gonot, ingénieur en chef des mines du Hainaut, dans les *Ann. des mines*, et exécuté dans une galerie à travers bancs de 2 mètres de haut et 2m,60 de large, à la houillère de la Chartreuse, près Liége.

Il diffère de celui qui a été décrit précédemment, en ce que les pièces de bois dont il est composé sont placées verticalement, et sont coupées à leurs extrémités suivant des plans inclinés de 70 degrés environ sur leur axe. Les parois de l'entaille dans laquelle il est placé sont taillées latéralement suivant des plans verticaux, et suivant des plans inclinés de 20 degrés environ sur l'axe de la galerie, au sol et au faîte de l'entaille. Le picotage est exécuté par des ouvriers placés en avant du serrement, et non par derrière. Avant de commencer cette opération, on met en place toutes les pièces de bois. On a couvert préalablement la face de l'entaille qui est sur le sol d'une couche de mousse sur laquelle on a posé une lambourde ou planche mince de 2 centimètres d'épaisseur. Les pièces de bois sont ensuite mises en place, en commençant par celles qui sont contiguës aux parois latérales, et finissant par celle du milieu. Elles sont maintenues dans la situation verticale et appuyées contre les bords de l'entaille par des cales de bois *g*, *g*. L'eau soutenue en arrière par un batardeau B s'écoule par un canal, et un trou *a* ménagé dans l'une des pièces. Pour mettre en place la pièce du milieu faisant clef, on la fixe à un boulon à vis tournant dans un écrou fixé à sa partie postérieure, et qui est lié par une chaîne à un autre boulon à vis traversant une pièce de bois T posée verticalement en avant du serrement, et encastrée par ses extrémités dans la roche du sol et du faîte de la galerie. On introduit obliquement la pièce dans dans l'ouverture qu'elle doit fermer, et quand les hommes sont sortis de derrière le serrement; on la dresse et la met en place, au

moyen des boulons à vis, en tournant l'écrou *e*. Cette pièce est percée à sa partie supérieure d'un trou de tarière incliné *bb*, par lequel l'air enfermé derrière le serrement peut se dégager. Quand toutes les pièces sont en place, on enfonce, avec des outils semblables au ciseau d'un menuisier, de la mousse entre la roche et l'une des pièces du serrement qui sont appliquées contre elle. On écarte ensuite cette pièce de la suivante avec des coins en fer, et on enfonce de la mousse dans l'intervalle. On garnit ainsi successivement de mousse fortement tassée tous les joints verticaux du serrement, ainsi que les espaces entre la roche et le bois, sur les deux faces latérales et au faîte. On exécute alors un picotage, d'abord sur les faces latérales entre la roche et le bois, en opérant à la fois sur les deux faces, ensuite au faîte entre les extrémités des pièces de bois et la roche, et au sol entre les extrémités des pièces de bois et la planche sur laquelle elles sont posées. Cette opération terminée, on enlève les boulons à vis qui ont servi à mettre en place la pièce qui forme clef; on bouche le trou par lequel les eaux s'écoulaient, et on laisse monter les eaux, après quoi on bouche aussi le trou qui a servi au dégagement de l'air; on établit ensuite, en avant de la digue, un boisage destiné à la consolider.

Serrements busqués. — Le genre de serrement décrit ci-dessus convient dans le cas de galeries larges et d'une hauteur médiocre. Il paraît plus facile à construire, et en même temps, plus solide que les *serrements busqués* que l'on construisait autrefois dans les galeries larges des mines du pays de Liége, et qui étaient formés de pièces de bois posées horizontalement, s'arc-boutant l'une l'autre dans le milieu de la galerie. Ils présentaient ainsi la forme de deux plans verticaux, se coupant sous un angle dièdre très-obtus, dont le sommet était tourné du côté d'où venaient les eaux, afin que la pression de celles-ci serrât les pièces les unes contre les autres. Il ne paraît pas que leur usage se soit conservé dans la province de Liége.

Serrements sphériques ou à coins. — Les constructions que nous venons de décrire, sont loin de présenter le même degré de solidité que les serrements sphériques, tels qu'ils ont été exécutés dans des mines de Saxe, sous la direction et sur les plans de M. Brendel, directeur des machines à Freyberg. Ces sortes de serrements sont désignés en allemand par le nom de *keil verspünden* (*serrements à coins*), parce qu'ils sont en effet formés de pièces de bois contiguës cunéiformes, taillées en forme de troncs de pyramides à quatre faces. Les *fig.* 8 à 11, *Pl. XIX*, représentent une construction de ce genre. Nous empruntons les détails suivants à la notice du professeur

Gatzschmann, imprimée dans l'*Annuaire ou Calendrier des mines et usines de Saxe*, pour l'année 1841.

Après avoir fait choix d'un emplacement convenable pour l'emplacement du serrement, on détermine le rayon de la sphère à la surface de laquelle aboutiront les extrémités antérieures des pièces de bois dont il sera composé. Ce rayon est ordinairement de 12 aunes de Saxe, à peu près 7 mètres, pour des galeries qui ont 2 mètres environ de hauteur et de largeur. On établit à 7 mètres en avant de la place qu'occupera la face antérieure de la digue, une traverse en bois qui doit se trouver sur le prolongement de l'axe de la galerie, à l'endroit où elle sera placée. On fixe, au point de rencontre de cette ligne et de la traverse en bois, un clou qui se trouve au centre de la portion de voûte sphérique qui constituera le serrement. On taille ensuite les parois de la galerie, suivant quatre plans qui vont se couper à ce centre. Si la section de la galerie était irrégulière au lieu d'être carrée, il faudrait tailler le contour, suivant plusieurs plans qui iraient tous se couper en ce point. Cette opération doit être faite à la pointe, et avec le plus grand soin. Il faut qu'un cordon attaché au clou par une de ses extrémités, s'applique exactement dans toute l'étendue de la surface taillée dans la roche, sur le contour de la galerie. On se sert en effet de cordons semblables pour diriger les ouvriers qui dressent les plans d'assise du serrement.

Avant de commencer le travail, on a élevé un peu en arrière de l'emplacement choisi, un batardeau qui relève les eaux, que l'on empêche de couler sur le sol, en les conduisant par un canal en bois appuyé sur la crête du batardeau et soutenu par quelques moises ou chevalets. Pendant ce temps, on prépare au jour les pièces de bois dont le serrement sera composé. On se sert en Saxe, de pin ou de sapin, que l'on préfère au chêne, parce qu'il est plus facile à *picoter* que les bois durs. On emploie des bois de choix parfaitement secs et même desséchés artificiellement. Les pièces ont moyennement $1^{m},70$ de longueur, et présentent au petit bout, après qu'elles sont dressées, une face plane carrée de 6 à 7 pouces (15 à 16 centimètres) de côté. Ces diverses pièces ont la forme de troncs de pyramides à quatre faces, dont toutes les faces convergent vers un centre placé comme celui que l'on a choisi dans la mine. Elles sont dressées et assemblées sur un sol planchéyé. On les assemble de manière qu'elles forment des assises d'épaisseur uniforme; tous les joints qui séparent deux assises superposées, sont sur une même circonférence de grand cercle de la sphère, tandis que les joints contenus dans

des plans verticaux, alternent d'une assise à l'autre. On transporte ensuite les bois numérotés dans la mine, et on procède à l'érection de la digue.

A cet effet, on nettoie préalablement les parois dressées de l'entaille. On pose sur le sol les pièces de bois qui doivent composer l'assise inférieure, en commençant par mettre en place celles qui sont contiguës aux parois latérales. On applique chacune d'elles contre la roche, en ayant soin de placer la pointe de la pièce, sur la surface de la sphère qui limite antérieurement la digue. On s'assure ensuite si lorsque la face verticale interne de cette pièce est dirigée vers le centre, sa face externe est appliquée dans toute son étendue contre la paroi. Si cela n'est pas, on retire la pièce après avoir tracé ce qu'il faut enlever. On présente ainsi plusieurs fois la même pièce, que l'on retouche jusqu'à ce qu'elle s'applique exactement contre le mur et la paroi latérale dans toute son étendue. Pour s'en assurer, on passe sur la roche une couleur rouge qui s'imprime uniformément sur les faces contiguës de la pièce de bois, lorsqu'elle est bien dressée, et qui, dans le cas contraire, indique les points où elle doit être retouchée. On place ensuite les autres pièces de l'assise inférieure, en se rapprochant du milieu de la galerie, jusqu'à celle du milieu formant clef. On mesure préalablement la largeur qu'il faut donner à celle-ci, à l'avant et à l'arrière, et on la dresse en conséquence, en lui donnant un excès d'épaisseur de 1/2 à 3/4 de pouce (1 à 2 centimètres), suivant le nombre de joints verticaux de l'assise horizontale. On présente la clef, sans l'enfoncer complétement, mais de manière à s'assurer qu'elle pourra remplir la place.

L'opération que nous venons de décrire, n'avait pour but que de rectifier la taille des pièces de bois. On les relève alors, pour appliquer sur la roche une forte toile grise double, enduite, dans son intérieur, d'une couche de goudron ou de mastic. Ce sont deux toiles enduites de goudron ou de mastic sur une de leurs faces, que l'on applique l'une sur l'autre par les faces enduites. Cette toile double est étendue sur le sol et repliée sur les parois latérales, qu'elle garnit sur une hauteur de $0^{m},60$ environ, et contre lesquelles elle est maintenue par des moises placées transversalement dans la galerie. Sur le sol ainsi recouvert, on applique les pièces formant l'assise inférieure du serrement, et l'on chasse la clef, qui serre cette assise, à grands coups de masse, de manière à obtenir un serrage aussi fort que possible.

Les autres assises sont posées successivement au dessus de celle-là, en rectifiant, avec le même soin, les parties qui les composent. Une des pièces de la seconde assise, à partir du sol, est percée d'un

trou longitudinal d'un diamètre suffisant pour l'écoulement des eaux, pendant la confection du travail. Cette ouverture est conique et évasée vers la partie postérieure du serrement, afin qu'elle puisse être bouchée par un tampon conique, que l'on introduira par derrière, quand l'opération sera terminée.

Les assises s'élèvent ainsi l'une sur l'autre, en ayant soin d'ajouter de nouvelles toiles enduites de goudron sur les parois. Vers le milieu de la digue, on place un tuyau en fonte d'environ 18 pouces ($0^m,41$) de diamètre, ce qui est suffisant pour que les ouvriers puissent y passer. Ce tuyau est cylindrique sur la moitié antérieure de l'épaisseur de la digue; il est ensuite évasé en forme de tronc de cône, de façon que son diamètre, à l'entrée, dépasse de 5 à 6 centimètres celui de la partie cylindrique. L'épaisseur des parois va aussi en augmentant avec le diamètre, depuis 3/4 de pouce jusqu'à 1 1/2 ou 2 pouces. Enfin, l'orifice large du tuyau est garni d'une forte bride d'un pouce de saillie, qui s'applique sur la face postérieure du serrement.

Après avoir dressé avec beaucoup de soin les pièces qui doivent être appliquées sur le demi-contour inférieur du tuyau en fonte, on applique sur le fond de ce canal demi-cylindrique une toile goudronnée simple, sur laquelle on pose le tuyau, et dont on replie les bords par dessus celui-ci; on met ensuite en place les assises supérieures jusqu'à celle qui recouvre tout-à-fait le tuyau.

Quand on est à la quatrième ou cinquième assise, à partir du faîte de la galerie, on présente les pièces sur place, sans les caler et les fixer complétement, et on les rectifie avec le plus grand soin, de manière qu'elles remplissent exactement le vide de la galerie. Après s'être assuré que cette condition sera remplie, on étend sur l'entaille du faîte une double toile goudronnée, qui est fixée par des clous, à des chevilles en bois que l'on a enfoncées dans des trous de fleuret pratiqués au faîte de la galerie.

Une des pièces de l'avant-dernière assise est percée d'un trou longitudinal auquel est adapté un tuyau recourbé en tôle destiné à l'évacuation de l'air, *fig.* 8 et 9.

La construction du serrement étant ainsi terminée, il faut encore, avant que les ouvriers se retirent et que l'on mette en place le tampon qui bouchera le trou d'homme, et que l'on a introduit d'avance derrière le serrement, il faut, dis-je, en *picoter* toutes les pièces, pour rendre les joints parfaitement imperméables. Ce picotage s'exécute d'abord avec des coins en bois de pin bien sec, qui ont 30 pouces de longueur ($0^m,64$), sont terminés en avant par un biseau, et tranchants sur les deux faces, de sorte que leur section, par un plan

normal à leur longueur, est de forme lenticulaire. La tête a 1 pouce 1/4 d'épaisseur. Leur largeur est de 3 à 4 pouces.

Ils sont enfoncés obliquement le long de tous les plans de joints, tout autour de la roche et du tuyau en fonte. On leur prépare l'entrée avec un ciseau de menuisier, et on les enduit de suif avant de les chasser à coups de masse. Les premiers coins de cette espèce pénètrent jusqu'à 18 ou 24 pouces de profondeur dans le bois (0m,214 à 0m,28). Mais à mesure que celui-ci est resserré, les autres pénètrent moins profondément. On enfonce ensuite, autant que possible entre les coins de bois tendre, des coins de bois dur ayant 18 pouces de long (0m,21), un pouce d'épaisseur et 2 pouces de largeur à la tête. Enfin, quand les coins de bois dur refusent d'entrer, on enfonce encore, principalement dans les assises inférieures, des coins plats en fer de 0m,21 de longueur, 0m,012 d'épaisseur à la tête et 0m,050 de largeur.

Ce picotage est tellement serré, qu'une surface de 30 pieds carrés peut recevoir successivement jusqu'à 2,400 coins de bois (80 coins par pied carré superficiel équivalent à 0m. carré, 0,84). Il s'exécute en procédant de bas en haut. Quand il a été poussé assez loin pour qu'il devienne impossible de distinguer les joints, on applique sur toute la face postérieure de la digue un enduit composé de vieux oing, d'un peu de goudron et de chaux éteinte. Pour plus de sûreté, on couche sur le sol une traverse en bois appuyée contre les parois latérales, et distante du serrement de 2 pouces. On garnit cet intervalle d'étoupes goudronnées fortement tassées, *fig.* 9.

Il ne reste plus alors qu'à fermer l'orifice inférieur qui a servi à faire écouler les eaux, et le trou d'homme par lequel les ouvriers sortent, après avoir disposé convenablement le gros tampon destiné à le fermer.

Le tampon qui doit fermer l'orifice d'écoulement inférieur des eaux, est en bois de hêtre rouge (*roth Buchen holz*), de forme conique, cerclé en fer au gros bout et picoté jusqu'au refus à cette extrémité. Il a environ 0m,50 de longueur.

Le gros tampon destiné à boucher le trou d'homme est également en hêtre rouge; il pénètre de 0m,64 environ dans le tuyau de fonte, et reste saillant sur une longueur d'environ 0m,50. Il est traversé d'outre en outre par une pièce de fer terminée en avant par un crochet qui sert à le tirer dans le tuyau, après la sortie des ouvriers. A chaque extrémité, cette traverse en fer s'appuie sur un disque de fer noyé dans l'épaisseur du bois; les disques sont serrés autour de la tige par des coins et des étoupes goudronnés, et contre le bois par

calculer la pression latérale à laquelle sont soumises les faces latérales d'un serrement sphérique. Supposons que la hauteur du serrement soit égale à sa largeur, de sorte que ses quatre faces latérales soient égales entre elles. Soient r' le rayon intérieur, r le rayon extérieur, $r - r'$ par conséquent, l'épaisseur du serrement, α la distance angulaire comprise entre deux des faces opposées du tronc de pyramide, H la hauteur de la colonne d'eau qui presse sur la partie postérieure du serrement. La masse considérée étant taillée à ses deux extrémités, suivant des portions de surfaces sphériques dont les rayons sont respectivement r et r', il est évident que la résultante des pressions de l'eau sur le quadrilatère sphérique postérieur sera dirigée vers le centre de la sphère, et égale au poids d'une colonne d'eau qui aurait pour hauteur H et pour base la projection du quadrilatère, sur un plan perpendiculaire à l'axe du serrement, c'est-à-dire, au rayon qui aboutit au centre du quadrilatère. Cette projection, lorsque l'angle α est petit, comme cela a lieu dans l'exécution, diffère peu du carré qui a pour côtés les cordes des arcs de cercle formant le périmètre du quadrilatère sphérique, et qui sous-tendent chacune un angle α, dans la circonférence de rayon r. La longueur de chacune d'elles est égale à $2r \sin\frac{\alpha}{2}$. La surface du carré qu'elles comprennent, est donc $4r^2 \sin^2\frac{\alpha}{2}$, et la résultante des pressions de l'eau sur la tête de la pièce, est à peu près égale à $4\varpi Hr^2 \sin^2\frac{\alpha}{2}$, ϖ étant le poids spécifique de l'eau. Cette pression est équilibrée par les pressions que les parois contiguës exercent sur les faces latérales du serrement et par les frottements. Soient N la pression normale exercée sur l'une des quatre faces de la masse, f le rapport du frottement à la pression. L'angle compris entre la direction de la force N et l'axe de la pièce, sera égal à $90° - \frac{\alpha}{2}$; la force fN dirigée suivant la face latérale, forme avec le même axe un angle égal à $\frac{\alpha}{2}$. On a donc pour la projection des forces appliquées à l'une des faces sur la direction de la résultante des pressions du fluide : $N \sin\frac{\alpha}{2} + fN \cos\frac{\alpha}{2}$. Comme la pièce a quatre faces symétriquement disposées par rapport à la direction de la résultante, les quatre faces doivent être également

pressées, et l'on a en conséquence pour déterminer la pression N, l'équation

$$4\varpi H r^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} = 4N\left(\sin\frac{\alpha}{2} + f\cos\frac{\alpha}{2}\right),$$

ou

$$\varpi H r^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} = N\left(\sin\frac{\alpha}{2} + f\cos\frac{\alpha}{2}\right) \quad (1).$$

Si l'on suppose que la pression totale N soit uniformément répartie sur toute l'étendue d'une face latérale, et si l'on désigne par H la hauteur d'une colonne d'eau capable d'exercer sur une des surfaces latérales, une pression égale à la pression normale N que cette surface supporte réellement, il faudra qu'en désignant par A l'aire d'une des faces latérales, on ait :

$$\varpi h A = N \quad \text{d'où} \quad h = \frac{N}{\varpi A}.$$

Or, la surface A a pour expression $\frac{\alpha}{2}(r^2 - r'^2)$. En conséquence

$$h = \frac{2N}{\varpi\alpha(r^2 - r'^2)}.$$

Substituant à N sa valeur, tirée de l'équation (1), il vient

$$h = \frac{2Hr^2\sin^2\frac{\alpha}{2}}{\left(\sin\frac{\alpha}{2} + f\cos\frac{\alpha}{2}\right)\alpha(r^2 - r'^2)}.$$

Il est facile de voir que le rapport $\frac{h}{H}$ est toujours plus petit que $\frac{r^2}{r^2 - r'^2}$; car on a :

$$\frac{2\sin^2\frac{\alpha}{2}}{\alpha\left(\sin\frac{\alpha}{2} + f\cos\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2\sin\frac{\alpha}{2}}{\alpha} \times \frac{1}{1 + f\cot\frac{\alpha}{2}},$$

expression évidemment inférieure à l'unité. Si on néglige l'influence du frottement, il faut faire $f = o$ dans la valeur précédente de h, qui se réduit à :

$$h = \frac{2Hr^2\sin\frac{\alpha}{2}}{\alpha(r^2 - r'^2)}.$$

Le rapport $\frac{h}{H}$ augmente à mesure que l'angle α diminue, et devient égal à la limite, pour une valeur infiniment petite de l'angle α, à $\frac{r^2}{r^2-r'^2}$.

Si au contraire on a égard au frottement, son influence diminue le rapport $\frac{h}{H}$, d'autant plus que l'angle α est plus petit, de sorte que pour un angle infiniment petit, ce rapport devient nul. A cette limite, l'épaisseur du serrement devient infinie.

En définitive, il résulte de la discussion précédente, que la hauteur h, mesure de la pression normale aux faces latérales des pièces du serrement, est toujours inférieure, même en négligeant l'influence des frottements, à la hauteur H de la colonne d'eau que le serrement doit soutenir, multipliée par le rapport $\frac{r^2}{r^2-r'^2}$. Le rayon r' étant déterminé arbitrairement, on aura, en appelant E l'épaisseur du serrement :

$$\frac{r^2}{r^2-r'^2}=\frac{(r'+E)^2}{(r'+E)^2-r'^2}=\frac{r'^2+2Er'+E^2}{2Er'+E^2}=1+\frac{r'^2}{2Er'+E^2}.$$

Si on désigne par q la pression en kilogrammes que l'on peut faire supporter aux pièces de bois par centimètre carré, H étant la hauteur en mètres de la colonne d'eau que le serrement sphérique doit contenir, la pression sur chaque centimètre carré de la tête du serrement, sera égale à $\frac{1000H}{10000}=\frac{H}{10}$ kilogr.; la pression par centimètre carré sur les faces latérales, sera toujours inférieure à $\frac{H}{10}\left(1+\frac{r'^2}{2Er'+E^2}\right)$ kilogr., et l'épaisseur du serrement sera déterminée par l'équation

$$\frac{H}{10}\left(1+\frac{r'^2}{E^2+2Er'}\right)=q;$$

d'où l'on tire

$$E=-r'+r'\sqrt{\frac{10q}{10q-H}}. \qquad (a)$$

En calculant l'épaisseur du serrement sphérique par cette formule, on sera certain que si le nombre q a été pris inférieur à la pression par centimètre carré que les bois pressés parallèlement aux fibres peuvent supporter sans s'écraser, la solidité sera assurée.

On serait conduit ainsi à augmenter l'épaisseur du serrement sphérique, proportionnellement au rayon intérieur r'. On voit en outre qu'en négligeant le frottement, il y aurait une limite de hauteur à l'eau qu'un pareil serrement pourrait supporter, quelle que fût son épaisseur, limite donnée par la relation $H = 10q$. Si on admettait par exemple, que la pression que les bois de sapin peuvent supporter parallèlement aux fibres, sans s'écraser, ne dépasse pas 70 kilogrammes par centimètre carré, on trouverait que la limite de la hauteur de colonne d'eau qu'un serrement construit en bois de cette nature pourrait supporter, serait de $70 \times 10 = 700$ mètres. Mais ces conséquences, auxquelles on arrive en négligeant les frottements, sont bien loin d'être exactes, parce que l'influence des frottements augmente avec l'épaisseur du serrement, et vient diminuer les pressions qui tendent à écraser et à étirer, pour ainsi dire, toute la masse. Dans le serrement exécuté dans la mine Churprinz Friedrich August Erbstollen, il paraît que la hauteur H était à peu près de 118 lachters, soit 240 mètres en nombres ronds. On avait d'ailleurs $r' = 7$, $E = 1^m,70$, et le serrement a convenablement résisté, bien qu'il ait subi un déplacement assez considérable en avant. Si on veut calculer en partant de cet exemple, la valeur de q par la formule (a), on trouve, en substituant les valeurs numériques ci-dessus:

$$q = 24\left(1 + \frac{49}{25,69}\right) = 93k,6.$$

D'après les considérations développées ci-dessus, et l'exemple cité, il nous paraît:

1° Qu'on pourra déterminer avec sécurité l'épaisseur d'un serrement sphérique construit en pièces de sapin par la formule (a) donnée plus haut, dans laquelle on attribuera à q une valeur de 90 kilogrammes. Plus le rayon r' sera grand, et plus l'excès de résistance sera considérable, en raison de l'influence du frottement.

2° Qu'il conviendra souvent, ainsi que l'indique M. le professeur Gätschmann, de diminuer le rayon r' des serrements destinés à supporter de très-fortes pressions; mais il faudra en même temps avoir égard à la solidité et à la texture de la roche. En diminuant, en effet, le rayon r', on augmente l'inclinaison sur l'axe du serrement et de la galerie, des plans d'assises taillés dans la roche et les pressions sur ces plans d'assises peuvent plus facilement déterminer des dégradations dans cette roche.

3° Enfin, il est évidemment nécessaire, dans tous les cas, de pro-

longer, ainsi que l'indique M. Gätschmann, les plans d'assises de 50 à 60 centimètres en avant du serrement.

4° Le serrage des pièces déterminé par le picotage, réuni à l'action des frottements qui est d'autant plus intense que l'angle du coin est plus petit, fait que les serrements sphériques ne se disloquent pas, dans le déplacement en avant qu'ils subissent, et se meuvent tout d'une pièce en glissant sur les plans d'assises, de sorte qu'on peut considérer le serrement sphérique comme une seule masse de bois, ainsi que nous l'avons fait dans la discussion précédente.

Calcul de l'épaisseur d'un serrement droit dont deux plans d'assises sont obliques à l'axe de la galerie. — Pour les serrements droits qui s'appuient sur des plans d'assises inclinés sur l'axe de la galerie, comme celui que l'on a exécuté dans la houillère de la Chartreuse, *Pl. XIX*, *fig.* 5 à 7, on peut admettre que la pression mutuelle qui existe entre les extrémités des pièces du serrement et les plans d'assises est égale à celle qui est due à la colonne d'eau qui pèse sur le serrement, et n'est point augmentée par le picotage qui est exécuté en avant. On peut calculer l'épaisseur à donner aux pièces, comme nous avons calculé celle des côtés d'un cuvelage polygonal. Il suffit de remplacer, dans la formule générale (*b*) relative à ce dernier cas (page 25), l'angle $\frac{360°}{2n}$ par l'angle compris entre le plan d'assise du serrement et l'axe de la galerie que nous désignerons par φ, *fig.* 5, *Pl. XIX*, et le rayon R du cercle inscrit au contour extérieur du cuvelage, par $\frac{L}{2 \operatorname{tang} \varphi}$, L désignant la longueur des pièces du serrement. Moyennant ces substitutions, l'épaisseur e de ces pièces sera donnée par l'équation

$$e = \frac{\varpi HL}{4Ei \operatorname{tang} \varphi} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{12Ei \operatorname{tang}^2 \varphi}{\varpi H}} \right\}.$$

On pourra faire dans cette équation $Ei = 600{,}000$, quand le serrement sera en bois de chêne.

Si on suppose, par exemple, $L = 1^m{,}50$, $H = 100^m$, $\operatorname{tang} \varphi = 0{,}3$, ce qui correspond à un angle φ de 16° 42′, on trouve :

$$e = \frac{15}{72} \left\{ 1 + \sqrt{1 + 6{,}48} \right\} = 0^m{,}77.$$

Il est visible que, pour des valeurs un peu grandes de H, on serait conduit à donner aux pièces du serrement droit des épaisseurs

énormes, ce qui rendrait nécessaire d'employer des pièces composées. On prévient, au reste, la flexion en renforçant le serrement par des étais ou de la maçonnerie construite en avant. Mais cela serait encore loin de présenter les mêmes garanties de solidité que le serrement sphérique.

Calcul de l'épaisseur d'un serrement droit appuyé sur des plans normaux à l'axe de la galerie.— Pour les serrements droits picotés et appuyés en même temps sur un plan d'assises normal à l'axe de la galerie, comme celui qui a été exécuté dans la mine du Huelgoat, il est impossible d'évaluer la pression que le picotage détermine sur le contour du serrement; il semble que le serrage doive être assez fort pour que le frottement, déterminé par la pression mutuelle des coins et de la roche, suffise à lui seul pour maintenir les pièces du serrement en place, indépendamment de la résistance du plan d'assises contre lequel elles sont posées plutôt qu'appuyées. Le rapport du frottement à la pression pour les bois mouillés glissant sur les bois, après un contact prolongé, serait à peu près égal à 0,70, d'après les expériences de M. Morin. Il y a lieu de croire qu'une valeur aussi élevée peut être adoptée dans le cas qui nous occupe. Si donc on désigne par L la longueur des pièces qui composent le serrement, par a la dimension du serrement dans le sens perpendiculaire à la longueur des pièces, de sorte que aL soit la surface pressée par les eaux (le serrement est supposé rectangulaire), par e l'épaisseur du serrement, et par p la pression exercée sur l'unité superficielle du pourtour qui limite le serrement, la pression p sera donnée par l'équation

$$1000aLH = 2e(a+L)\times 0,70\times p;$$

d'où

$$p = \frac{1000aLH}{1,4(a+L)e} \text{ kilogr.}$$

Cette pression p par unité superficielle s'exerce sur les faces latérales opposées, en même temps que sur les faces extrêmes des pièces, de sorte que celles-ci sont pressées sur deux faces opposées dans le sens perpendiculaire aux fibres, et sur deux autres faces opposées dans le sens parallèle aux fibres. Si cette dernière pression existait seule, le raccourcissement des fibres de la pièce serait $\frac{p}{E}$, E étant le module d'élasticité; nous admettrons que ce raccourcissement n'est point diminué par les pressions exercées sur les deux faces opposées

perpendiculaires aux faces extrêmes. Le picotage étant donc suffisamment serré, pour que le frottement seul qui résulte du serrage suffise pour soutenir le serrement contre la pression des eaux, il résultera de cette cause un raccourcissement des fibres égal à la fraction

$$\frac{1000\,a\,\mathrm{LH}}{1{,}4\,(a+\mathrm{L})\,e\times\mathrm{E}}=\frac{a\mathrm{LH}}{1{,}4\times 1.200{,}000(a+\mathrm{L})\,e},$$

en prenant le coefficient $\mathrm{E}=1{,}200{,}000{,}000$ par mètre carré superficiel.

La charge des eaux produit en même temps une flexion des pièces, par suite de laquelle le raccourcissement maximum des fibres situées à la face concave sera égal à la fraction

$$\frac{3\varpi\mathrm{HL}^2}{4\mathrm{E}e^2}=\frac{\mathrm{HL}^2}{1.600.000e^2}.$$

En supposant que les deux effets s'ajoutent, le raccourcissement total sur l'unité de longueur, des fibres les plus comprimées sera égal à

$$\mathrm{HL}\left\{\frac{a}{1{,}4\times 1.200.000(a+\mathrm{L})e}+\frac{\mathrm{L}}{1.600.000e^2}\right\};$$

et si l'on veut que ce raccourcissement n'excède pas 0,001, on aura pour déterminer l'épaisseur des pièces, l'équation

$$\mathrm{HL}\left(\frac{a}{1{,}4\times 1200\,(a+\mathrm{L})e}+\frac{\mathrm{L}}{1600e^2}\right)=1;$$

d'où l'on tire :

$$e=\mathrm{L}\left\{\frac{a\mathrm{H}}{3360\,(a+\mathrm{L})}+\frac{1}{40}\sqrt{\frac{a^2\mathrm{H}^2}{84^2\,(a+\mathrm{L})^2}+\mathrm{H}}\right\}.$$

Si nous faisons, par exemple, $\mathrm{L}=2$ mètres, $a=2$ mètres et $\mathrm{H}=200$ mètres, la formule précédente donne :

$$e=0^{\mathrm{m}},77,$$

épaisseur aussi petite que celle que nous avons trouvée pour les pièces du serrement droit appuyé sur des plans d'assises obliques à l'axe de la galerie, dans l'hypothèse d'une pression d'eau moitié

moindre, et d'une plus petite longueur des pièces, ce qui tient à ce que, en traitant ce dernier cas, nous avons négligé l'influence des frottements sur le pourtour entier du serrement, et considéré les pièces comme reposant uniquement par leurs faces extrêmes sur les plans d'assises. Comme il n'est pas certain que le serrage résultant du picotage ne dépasse pas l'évaluation à laquelle nous nous sommes arrêtés, pour les serrements posés contre les faces d'entailles normales à l'axe de la galerie, on ne saurait avoir grande confiance dans les résultats du calcul basé sur cette supposition, et nous répéterons que les serrements sphériques sont bien plus sûrs, quand on a à soutenir des colonnes d'eau très-élevées.

Serrements horizontaux ou plates-cuves. — Il est assez souvent nécessaire d'exécuter des serrements ou digues contre les eaux, dans des puits verticaux. Ainsi lorsqu'on abandonne des puits qui ont été foncés à travers des terrains aquifères et cuvelés, on doit, si l'on veut se dispenser d'entretenir indéfiniment le cuvelage en bon état, établir au dessous des terrains aquifères, une voûte ou serrement imperméable et pour ainsi dire indestructible, sur lequel on rejette souvent des déblais, pour combler la partie supérieure du puits. Ces genres de serrements portent le nom de plates-cuves; ils peuvent être construits en bois, en maçonnerie de briques, ou en pierres de tailles; quand ils sont en bois, la forme des serrements sphériques est la seule qui convienne. Dans les puits circulaires ou elliptiques l'assise du serrement sera une surface conique ayant son sommet au centre de la sphère. Elle devra être taillée dans un terrain solide, au dessous de l'assiette du cuvelage supérieur. Si on craignait que celui-ci ne fût ébranlé, on relierait par des tirants en fer les trousses picotées et colletées qui sont à sa base aux trousses picotées et colletées supérieures, ou à de fortes pièces de bois établies sur le sol à l'orifice du puits. Les pièces du serrement contiguës à la roche seront taillées de manière à s'appliquer exactement par une de leurs faces sur la surface conique, les autres faces étant des plans passant par le centre de la sphère.

Plates-cuves en briques du département du Nord. — Dans les environs de Valenciennes, on établit dans les dièves, au dessous de l'assiette fondamentale du cuvelage, deux voûtes sphériques en maçonnerie de briques et mortier hydraulique; la *fig.* 1, *Pl. XX*, représente une construction de ce genre. Pour poser la voûte inférieure, on démolit une partie du revêtement qui règne au dessous du cuvelage, et l'on bâtit une coupole en briques qui s'appuie partie sur le revêtement inférieur, et partie sur la roche des parois. Au dessus

de cette première voûte, on remplace le revêtement du puits par un muraillement plus épais qui s'élève jusques un peu au dessous de l'assiette du cuvelage. Ici on démolit le muraillement ancien en ayant soin de soutenir le cuvelage par quatre tirants en fer qui supportent un châssis rectangulaire sur lequel sont posés d'autres châssis disposés de manière à venir s'appliquer sous les pièces de la trousse colletée polygonale qui est à la base du cuvelage. Les *fig.* 1 (*a*) et 1 (*b*), *Pl. XX*, représentent le châssis inférieur, et les châssis carrés posés dessus de façon à laisser un vide intérieur octogone. On creuse une excavation d'un diamètre suffisant pour que l'on puisse établir autour de la coupole qui sera directement sur le puits, une seconde voûte annulaire dont la génératrice est un quart de cercle situé dans un plan passant par l'axe du puits et qui tournerait autour de cet axe, *fig.* 1, *Pl. XX*. Le dessous de cette voûte est rempli en maçonnerie de briques. On voit, *fig.* 1 et 1 (*c*), un tuyau ménagé pour l'écoulement des eaux provenant des filtrations supérieures, pendant la durée des travaux. La voûte est recouverte d'une couche épaisse de béton en mortier hydraulique. On rétablit ensuite le revêtement du puits jusqu'au dessous du cuvelage, après quoi le puits peut être abandonné et remblayé. Le genre de construction décrit ci-dessus convient dans des terrains compressibles qui céderaient sous la pression considérable qu'un serrement sphérique, ou une calotte de voûte sphérique en pierres de taille, exercerait sur l'assise taillée dans le terrain. On voit que la coupole repose ici principalement sur la tour supérieure en maçonnerie.

Si l'on avait à soutenir une très-haute colonne d'eau, une voûte sphérique en pierres de taille serait sans doute le genre de construction le plus convenable; mais il faudrait tailler les pierres avec beaucoup de soin, et probablement il conviendrait de garnir les joints, non avec du mortier, mais avec des lames de plomb. Ce métal étant mou et ductile, s'imprimerait dans les petites cavités restant dans les plans de joint et rendrait toute filtration impossible. Quand la voûte sera établie dans une roche solide et incompressible, on pourra tailler dans cette roche les plans ou surfaces d'assises. Si la roche est compressible, il conviendra d'imiter le mode de construction usité dans les environs de Valenciennes, c'est-à-dire de construire deux voûtes sphériques, séparées par une assez grande distance. La voûte inférieure en demi-sphère s'appuierait partie sur le revêtement en maçonnerie, partie sur la roche; au dessus s'élèverait une tour en maçonnerie très-épaisse sur laquelle serait assise la voûte supérieure également en demi-sphère, qui serait flanquée et recouverte sur

le dôme d'un massif de béton remplissant tout l'intervalle qui resterait entre l'extrados de la voûte et les parois de l'excavation.

Quand un serrement exécuté dans une galerie horizontale, s'appuiera sur une roche compressible, comme certains schistes houillers, des marnes et des argiles, il faudra également contenir le terrain, en avant du serrement, par un muraillement complet et épais, prolongé sur une assez grande longueur.

CHAPITRE VII.

MÉTHODES D'EXPLOITATION OU ENSEMBLE DES TRAVAUX SOUTERRAINS D'UNE MINE.

Conditions générales auxquelles doit satisfaire un système d'exploitation. — Dans la disposition générale des travaux d'une mine on doit se proposer de satisfaire aux conditions suivantes :

1° Faciliter l'écoulement des eaux qui arrivent dans les excavations, ou leur épuisement, lorsque la mine n'est point asséchée par une galerie d'écoulement ;

2° Rendre le transport souterrain des minerais commode et peu dispendieux ;

3° Faire circuler un volume d'air suffisant dans toutes les excavations où les ouvriers sont obligés de passer ou de stationner ;

4° Rendre l'abattage des minerais facile et économique ;

5° Faire qu'on puisse arracher la totalité ou la plus grande partie des minerais utiles, sans danger pour les ouvriers ;

6° Eviter d'avoir à maintenir ouvert un grand développement de galeries dont les parois seraient soutenues par des boisages d'un entretien coûteux ;

7° Avoir des ateliers d'exploitation prêts à recevoir les ouvriers qui abandonnent des tailles où l'exploitation est arrivée à sa limite, par épuisement du gîte, ou autrement.

La première condition exige généralement que toutes les excavations situées au dessous de la galerie d'écoulement, soient à un niveau supérieur, à un puisard, situé au bas d'un puits vertical ou incliné, dans lequel les eaux sont prises par les machines d'épuisement, et que le sol de ces excavations ait une pente légère vers ce puisard ou vers des galeries qui communiquent avec lui.

On satisfait à la seconde, en donnant aux galeries qui conduisent aux chantiers d'exploitation ou tailles, une pente vers les places d'accrochage, dont le degré dépend du mode de transport souterrain que l'on a adopté. Le mode le plus économique de transport consiste dans l'emploi de chariots roulant sur des rails en fer, et traînés par des hommes ou des chevaux, suivant que la masse de minerais à

transporter est plus ou moins considérable, et que les dimensions des galeries de roulage sont plus ou moins grandes. L'opportunité de faire les dépenses nécessaires pour l'établissement de chemins de fer, et de galeries de roulage à grande section dépend d'ailleurs, dans chaque cas, de la masse de transports à opérer, de la richesse du gîte, etc. Un chapitre spécial sera consacré au transport souterrain.

Les méthodes d'aérage seront également décrites dans un chapitre particulier. Nous nous bornerons à dire ici que les lieux fréquentés par les ouvriers, doivent faire partie d'un circuit communiquant au jour directement, ou par l'intermédiaire d'autres excavations, par deux orifices dont l'un serve à l'entrée et l'autre à la sortie de l'air, de sorte qu'il y ait une circulation d'air continue sur tous ces points. Les excavations à une seule ouverture, formant des espèces d'impasses, ne sont pas suffisamment aérées dès qu'elles ont atteint une profondeur médiocre, variable d'ailleurs avec leurs dimensions et plusieurs autres circonstances qui seront indiquées plus loin.

La quatrième condition rend souvent la forme et la direction des tailles ou chantiers d'abattage dépendantes de la texture des masses minérales qu'il s'agit d'entailler.

La cinquième condition exige que le mode d'exploitation soit approprié aux circonstances particulières du gîte, notamment à sa puissance, son inclinaison, la solidité du toit et du mur, la quantité de matières stériles qui accompagnent les minerais utiles, et qui doivent être abattues en même temps que ceux-ci, etc.

La sixième exige généralement que les travaux d'une mine ne soient point éparpillés sur une grande étendue, et que les ouvriers soient au contraire réunis dans un champ assez limité que l'on épuise, et que l'on abandonne ensuite, pour n'y plus rentrer.

La septième exige que dans les gîtes non réguliers, ou dont la richesse est sujette à des variations, on mène de front les travaux d'exploitation actuellement productifs, et des travaux de recherche qui ont pour but de découvrir de nouvelles parties du gîte où l'on puisse placer les ouvriers, à mesure que les parties connues sont épuisées.

Nous exposerons, dans ce chapitre, les principes généraux des méthodes d'exploitation que l'on doit appliquer aux gîtes divers, pour satisfaire principalement aux trois dernières conditions énumérées ci-dessus.

Division des gîtes en deux classes, d'après la quantité de matières stériles que l'on peut laisser en remblai.—Les gîtes peuvent

être divisés, sous le rapport des méthodes à suivre dans leur exploitation, en deux classes : la première comprend ceux où les minerais utiles sont associés à des matières stériles ou gangues, que l'on peut trier dans la mine même, et avec lesquelles on opère le remblai des excavations assez complétement pour soutenir les parois et prévenir les éboulements.

La seconde comprend ceux où les matières stériles que l'on peut séparer des minerais ne suffisent pas pour opérer un semblable remblai.

Dans la première sont la plupart des filons métallifères, tandis que la seconde renferme surtout des gîtes de combustibles, de sel gemme ou de matières pierreuses, en couches ou en amas. Toutefois il y a des exceptions nombreuses.

Pour chaque classe, les méthodes d'exploitation diffèrent suivant que la puissance du gîte est petite ou grande, sans qu'on puisse assigner de limites précises entre les gîtes puissants et les gîtes peu puissants, parce que ces limites, sous le rapport du choix de la méthode d'exploitation, ne sont point absolues, mais corrélatives à la solidité des épontes et du gîte lui-même.

Enfin les méthodes d'exploitation varient aussi, suivant que l'allure et la richesse des gîtes sont régulières ou irrégulières. Dans le dernier cas, des travaux de recherche doivent précéder l'exploitation proprement dite, et il importe de diriger ces travaux de manière, qu'en cas de découverte, ils préparent et facilitent l'exploitation ; dans le premier, les travaux de recherche sont inutiles.

Dans ce qui va suivre, nous nous attacherons surtout à faire saisir l'esprit des méthodes, sans insister sur des détails qui varient d'une infinité de manières et dépendent de circonstances purement locales. Ordinairement nous ferons connaître ces méthodes par des exemples choisis dans des mines, où elles sont appliquées avec succès depuis longtemps.

Gîtes peu puissants et où les matières stériles sont en quantité suffisante pour soutenir les parois des excavations. — L'exploitation est la plus simple possible, lorsque, la puissance d'un gîte étant peu considérable, les matières stériles suffisent pour remblayer les excavations, de manière à ce que leurs parois soient soutenues, et qu'il n'y ait pas d'éboulement possible. C'est le cas de la plupart des filons métalliques exploités dans le Hartz, la Saxe, le comté de Cornwall, etc.

Filons du comté de Cornwall. — Dans le comté de Cornwall, l'inclinaison des filons d'étain ou de cuivre sur le plan horizontal est

généralement considérable, de 50 à 70 degrés. Le puits d'épuisement le plus profond, dit *sump*, est habituellement foncé verticalement dans le toit du gîte. Lorsqu'il est arrivé à une profondeur de 10 *fathoms* (18m,29) au dessous des anciens travaux existants sur la crête du filon, on atteint celui-ci par une galerie à travers bancs. Après qu'on a traversé le filon du toit au mur, on y pratique une galerie suivant la direction, dite galerie d'allongement, que l'on pousse à la fois des deux côtés de la traverse, en donnant au sol une légère inclinaison vers celle-ci, pour l'écoulement des eaux. Cette galerie sert à reconnaître le gîte, en même temps qu'elle produit déjà du minerai. On la met en communication soit avec d'autres puits verticaux destinés à l'épuisement des eaux ou à l'extraction des minerais, soit avec des puits inclinés suivant la ligne de plus grande pente, qui traversent les vieux travaux supérieurs déjà asséchés par le puits d'épuisement, et l'on pourvoit ainsi à la circulation de l'air. Pendant ce temps on continue de foncer le puits d'épuisement, à partir duquel on exécute, de 10 en 10 fathoms de profondeur, de nouvelles galeries à travers-bancs qui vont rejoindre le filon. A chaque niveau, on pratique dans le gîte de nouvelles galeries d'allongement au dessous de la première, lesquelles sont mises en communication les unes avec les autres par des cheminées ou puits inclinés que l'on pratique principalement aux endroits où le filon se montre le plus riche. Le gîte se trouve ainsi divisé en massifs rectangulaires, dont les supérieurs sont exploités, et livrent du minerai, tandis que l'on continue à préparer des massifs inférieurs, et à foncer au besoin le puits principal d'épuisement. Les galeries horizontales ou d'allongement servent, comme on voit, à reconnaître le gîte, en même temps qu'elles fournissent un écoulement aux eaux, et des voies pour le transport des minerais exploités. Elles sont aérées par les communications établies entre elles, de distance en distance, au moyen de cheminées exécutées suivant l'inclinaison, et de traverses qui les relient à plusieurs puits d'épuisement, d'extraction, ou de descente des ouvriers ayant leurs orifices au jour. Ce système général satisfait donc à toutes les conditions d'une bonne exploitation. Il nous reste à entrer dans les détails relatifs à l'abattage des massifs rectangulaires compris entre les galeries d'allongement et les cheminées de communication.

Des ouvriers, travaillant à l'entreprise, attaquent ces massifs à l'un des angles situés à la jonction de la cheminée et de la galerie horizontale inférieure au point *a*, *fig.* 2, *Pl.* XX. Ils abattent, à la poudre, toute la masse du filon, trient le minerai qui est chargé dans des chariots, pour être conduit au puits d'extraction, et transportent

les matières stériles dans l'endroit le plus voisin où elles ne gênent pas la circulation, s'il y a de tels endroits dans la mine. Quand ils ont ainsi excavé, sur une hauteur de 2 mètres, une longueur de 2 à 4 mètres et toute la largeur du filon, ils établissent, au niveau du faîte de la galerie d'allongement, un plancher *ap* porté sur des traverses horizontales ou perpendiculaires au plan du filon, et reposant par leurs extrémités sur des entailles pratiquées dans la roche encaissante, quand elle est solide, ou sur des montants verticaux, lorsque les parois latérales de la galerie ont besoin d'être soutenues. Ils recouvrent ce plancher des déblais stériles qu'ils avaient d'abord mis de côté, garnissent ainsi l'excavation, et ne laissent entre les remblais et le front de la taille que l'espace suffisant pour qu'ils puissent continuer à abattre la roche, en avançant à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal. Lorsque ce travail a été continué quelque temps, le front de taille présente une surface inclinée de *m* vers *n*, ou une surface en escalier renversé, ainsi qu'elle est représentée *fig.* 2. Les remblais stériles amoncelés sur le plancher inférieur remplissent l'excavation jusques à 1m,50 ou 2 mètres de distance du front de taille. A mesure que l'exploitation continue, les minerais triés sont jetés dans la galerie inférieure, par l'ouverture ménagée entre l'extrémité *p* du plancher et la roche intacte, ou par la cheminée *am*. Les matières stériles restent sur place. On soutient les remblais par des étais en bois placés sur le côté de la cheminée *am*, et pour les consolider, on a soin de construire avec les plus grosses pierres un mur sec qui est appuyé sur ces étais.

Si les matières stériles ne sont pas assez abondantes pour remblayer complétement l'excavation, et si néanmoins les épontes du filon sont solides, on laisse exister des vides dans le remblai, et les ouvriers, pour continuer d'attaquer la roche, se placent sur des planchers portés par des traverses appuyées sur les épontes du filon.

Si, au contraire, les déblais stériles sont trop abondants, on est obligé d'en enlever une partie dont on se sert pour remplir d'autres excavations, ou que l'on extrait au jour, quand on ne peut faire autrement.

Si le massif ne contient du minerai que sur quelques points; si, par exemple, le minerai forme une sorte de colonne disposée suivant la ligne de plus grande pente du filon, on prend un ouvrage montant tel que A ou B, *fig.* 2, *Pl. XX*, qui ne s'étend que sur la partie riche. Il est limité par deux cheminées qui servent à la fois à la circulation de l'air, au passage des ouvriers et à jeter les minerais dans la galerie inférieure.

Dans les mines métalliques du comté de Cornwall, les massifs sont souvent assez riches, pour que les matières stériles ne suffisent pas au remblai complet des excavations. Il reste donc des vides assez considérables, ce qui n'a point d'inconvénients à cause de la solidité des parois.

Adjudication des travaux au rabais. — L'abattage des massifs est donné à l'entreprise et au rabais à des compagnies d'ouvriers, qui prennent à leur charge l'abattage, le transport, l'extraction et même la préparation mécanique des minerais, moyennant une fraction déterminée du prix de vente. Les entrepreneurs se fournissent la poudre et l'huile pour l'éclairage. Ils entretiennent à leurs frais les outils qui leur sont prêtés par les propriétaires de la mine; ils payent l'extraction par les puits verticaux à un prix déterminé suivant la profondeur; ils payent les ouvriers du jour employés au triage et à la préparation mécanique ultérieure. Un compte particulier est ouvert à chaque compagnie d'ouvriers entrepreneurs sur les livres des propriétaires de la mine. Ce compte est débité des avances qui sont faites, soit en argent, soit en matières évaluées en argent, du montant des frais d'extraction, de lavage, etc. Les tas de minerais préparés et prêts à vendre, appartenant aux diverses compagnies, sont pesés, et leur teneur en métal est déterminée par des essayeurs. Des échantillons triples de chaque tas sont conservés, pour y recourir en cas de contestation. Ces divers tas sont ensuite mêlés pour former une masse commune, qui est vendue aux enchères publiques aux propriétaires d'usines où l'on traite ces minerais. Après la vente, on règle le prix afférent aux minerais livrés par chacune des compagnies d'ouvriers. Les comptes respectifs sont crédités du montant de la fraction convenue du prix de vente, balancés et soldés définitivement.

Ces entreprises d'exploitation sont adjugées à la criée et au rabais, tous les deux mois. Les mineurs de tout le pays sont prévenus à l'avance par des affiches. Le *capitaine de mines*, qui préside à l'adjudication, a d'avance fixé le prix maximum qu'il ne veut pas dépasser. Lorsqu'il lui paraît qu'un travail a été poussé à un prix suffisamment bas, il prononce souvent l'adjudication avant d'attendre la limite inférieure des offres qui pourraient être faites en dessous de ce prix par des compétiteurs jaloux ou peu intelligents.

Le système économique des mines du Cornwall a de grands avantages. Il rend la surveillance facile, simplifie la comptabilité, stimule les ouvriers qui sont payés en raison du minerai livré, et sont en outre directement intéressés à veiller à la conservation du matériel

dont ils répondent, et qu'ils entretiennent à leurs frais, ainsi qu'à surveiller les gens qu'ils emploient comme rouleurs, etc. Il exige d'ailleurs un grand développement de travaux souterrains, afin que les minerais livrés par les diverses compagnies d'entrepreneurs soient extraits séparément. En effet, comme il n'y a jamais qu'un petit nombre d'ouvriers formant une seule association, occupés à l'exploitation d'un massif rectangulaire déterminé, il faut des travaux préparatoires étendus et un grand développement de galeries ouvertes, ce qui a ici d'autant moins d'inconvénients que la richesse des filons est assez régulière, et que les épontes sont, à quelques rares exceptions près, une roche extrêmement solide.

Mines des environs de Freyberg. Ouvrages montants, ou à gradins renversés. — Dans les mines métalliques des environs de Freyberg, les filons sont aussi divisés en massifs longs par des galeries d'allongement distantes entre elles de 20 toises, environ 40 mètres, mesurées suivant la plus grande pente du gîte. Ces massifs sont recoupés par des cheminées inclinées, à des distances variables les unes des autres, suivant les besoins de l'aérage. Au bas de l'une de ces cheminées, on commence un ouvrage montant dont le front présente un escalier renversé, comme le représente la *figure* 2, *Planche XX*, en *apnmm'n'p'a'*. A la mine de Himmelsfürst, chaque gradin n'a que 3/4 de toise de hauteur verticale sur 2 ou 3 toises de longueur, et occupe un ouvrier (*Richesse minérale*, t. II, p. 238). Au lieu d'un plancher, on construit généralement, au faîte de la galerie d'allongement inférieure, des voûtes surbaissées, sur lesquelles on laisse les roches stériles résultant de l'exploitation. On ménage, au milieu des déblais, des cheminées inclinées de 20 en 20 toises, pour jeter les minerais dans la galerie de roulage inférieure. Le triage des minerais abattus est exécuté par des hommes ou des enfants payés à la journée, qui sont en même temps chargés d'arranger les déblais, d'élever les cheminées, de tenir les abords des tailles propres. Les ouvriers de la mine de Himmelsfürst sont payés, à ce qu'il paraît, à raison de tant par toise d'avancement sur toute la hauteur du gradin. On leur fournit la poudre, et ils sont tenus de percer par jour deux trous de mine profonds de 12 à 14 pouces. On estime le prix du mètre cube d'entaillement de la roche à peu près comme il suit :

	fr.	c.
Prix fait payé au mineur à tâche réglée.	4	55
Valeur de la poudre.	2	64
Frais de triage, surveillance, etc.	10	30
Total.	17	49

Ces données sont extraites de la *Richesse minérale* de M. Héron de Villefosse, t. II, p. 243. On peut aussi consulter sur l'exploitation des mines de Saxe l'ouvrage de M. Daubuisson sur les mines de Freyberg.

La méthode de Saxe ne diffère pas essentiellement de la méthode usitée dans le Cornwall. Seulement en Saxe, un plus grand nombre d'ouvriers sont placés à côté les uns des autres, de manière que les minerais abattus par les uns et les autres sont mêlés ensemble. Il serait donc impossible d'appliquer ici le mode d'adjudication au rabais usité dans le comté de Cornwall.

Ouvrages à gradins droits. — Dans quelques cas, les tailles d'exploitation, au lieu d'être prises en montant, sont prises en descendant, de telle sorte que le front de la taille présente la forme d'un escalier droit et non d'un escalier renversé. Ce genre de travail est appelé ouvrage à *gradins droits*. Les *fig.* 3 et 4, *Pl. XX*, empruntées à l'atlas de la *Richesse minérale*, représentent une grande taille de ce genre poursuivie, à mesure que le puits s'approfondissait, dans la mine d'Andreasberg, au Hartz. Les détails qui suivent sont empruntés à l'ouvrage cité de M. Héron de Villefosse, t. II, p. 272. *p*, *fig.* 4, est le puits foncé suivant l'inclinaison du filon. Le massif longitudinal que l'on avait commencé à exploiter au sol d'une galerie d'allongement située à 100 mètres environ au dessus du fond du puits est taillé en gradins droits ayant environ 5 mètres de hauteur sur 7 à 8 mètres de longueur. En arrière de chaque gradin, et au niveau du sol, est établi un plancher porté par des étais transversaux appuyés sur les épontes du filon. Un ouvrier ou deux ouvriers au plus, placés devant la face verticale de chaque gradin, et se tenant sur la face horizontale, entaillent la roche et prolongent le gradin en avant. Ils continuent en même temps, derrière eux, le plancher qui se trouve au niveau du sol de leur gradin, à mesure que ce sol est enlevé par les ouvriers placés au dessous. Les minerais provenant du gradin inférieur sont transportés au puits directement. Ceux qui proviennent des gradins supérieurs sont transportés au puits par des voies de roulage horizontales ménagées au milieu des remblais. Le sol de ces galeries est formé de déblais amoncelés sur des planchers. Le nombre des voies ainsi ménagées n'est pas généralement égal à celui des gradins. Il dépend de la plus ou moins grande quantité de roches stériles qui restent en remblai dans la mine. Les gradins vis-à-vis desquels il n'y a point de voie de roulage envoient leurs minerais à la voie inférieure. Des échelles placées devant le front de chaque gradin permettent de circuler sur toute la hauteur du front de la taille ainsi découpée.

L'ouvrage par gradins droits exige, comme on voit, une dépense en boisage beaucoup plus considérable que l'ouvrage par gradins renversés. Car, quelle que soit l'abondance des matières stériles, il faut établir autant de planchers que de gradins. La mise en place des remblais exige aussi un transport particulier qui n'est pas nécessaire dans l'ouvrage par gradins renversés. Les gradins droits ont l'avantage de pouvoir être commencés, sans aucuns travaux préparatoires, à quelques mètres seulement au dessus du fond du puits. Quand les roches à abattre sont très-tenaces, le travail du percement des trous des mines est aussi plus prompt et plus facile, et le triage des minerais peut être mieux fait dans l'ouvrage par gradins droits, où les roches abattues tombent sur le sol du gradin, que dans l'ouvrage par gradins renversés, où elles tombent sur les remblais. Néanmoins ce dernier mode de travail est généralement préféré, comme définitivement plus économique, dans l'exploitation des filons métalliques inclinés de 45 à 90° sur le plan horizontal.

Gîtes peu inclinés.— Lorsque les gîtes ont une faible inclinaison, le système d'exploitation reste le même : mais les galeries de traverse qui mettent en communication le puits d'extraction et le gîte deviendraient trop longues et trop dispendieuses pour qu'il fût possible de les multiplier, comme dans le cas de gîtes très-inclinés. On transporte donc, en général, les minerais par des voies inclinées ménagées au milieu des remblais, qui débouchent dans la voie de roulage principale et presque de niveau, laquelle aboutit directement, ou par l'intermédiaire d'une galerie à travers bancs, au puits d'extraction.

Exemple de l'exploitation des schistes cuivreux du pays de Mansfeld.— Les schistes cuivreux que l'on exploite dans le Mansfeld constituent une couche mince très-étendue, peu inclinée dans quelques parties, et très-inclinée sur d'autres points. Après avoir atteint le pied de la partie de couche que l'on veut exploiter, soit par un puits vertical, soit par une galerie à travers bancs creusée à partir d'un puits vertical, suivant que cette partie est peu inclinée, ou très-inclinée sur le plan horizontal, on exécute, dans le gîte, une galerie d'allongement à laquelle on donne, par l'entaillement du toit ou du mur, une hauteur suffisante pour qu'on puisse y organiser un roulage commode et économique. On divise la partie de couche située en amont de cette galerie en massifs rectangulaires ou rhomboïdaux, par deux systèmes de galeries dont les unes sont horizontales et suivent la direction du gîte, et dont les autres sont perpendiculaires ou obliques aux premières. Elles sont obliques, lorsque la pente du gîte est trop petite pour que les minerais jetés dans ces galeries puissent arriver

d'eux-mêmes à la galerie horizontale inférieure, et trop forte pour permettre la circulation facile de chariots ou traîneaux mis en mouvement par des hommes. On trace alors les galeries obliques ou *diagonales* suivant des lignes intermédiaires entre la direction et l'inclinaison du gîte, de manière à obtenir la pente la plus favorable à la circulation des vases employés au transport des minerais. Chaque massif a environ 100 mètres de long sur 50 mètres de hauteur mesurée suivant l'inclinaison. Le champ ainsi divisé est habituellement limité par la galerie horizontale qui a servi à l'exploitation d'un champ supérieur, et aboutit à un puits d'extraction abandonné ou encore utilisé. L'aérage des travaux est assuré par la communication de ce dernier puits avec le puits inférieur. Chaque massif est ensuite exploité par une dizaine d'ouvriers placés en retraite, les uns au dessus des autres, de façon que si on relevait le front de taille, dans un plan vertical, il présentât la forme de gradins renversés. Les ouvriers mineurs havent au sol de la couche sur une profondeur de 0m,60 à 1m. Ils abattent ensuite à la poudre ou avec des coins la masse détachée par dessous, sur toute la hauteur de la couche qui n'excède guère 0m,65. Ils soutiennent provisoirement le toit de l'excavation, en arrière du front de taille, par des étais en bois, et remblaient ensuite l'espace vide au moyen des déblais stériles provenant du gîte lui-même, ou de l'entaillement du toit et du mur dans les voies principales de roulage, auxquelles on est obligé de donner une hauteur plus grande que celle du gîte.

La division en massifs rectangulaires sert surtout à faire reconnaître le gîte sur une assez grande étendue, et à découvrir d'avance les points sur lesquels l'exploitation ultérieure sera productive et devra successivement se porter. Elle est inutile, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, dans le cas de gisements réguliers, tant sous le rapport de la richesse que sous celui de l'allure générale, surtout si celle-ci est connue d'avance par des études ou des travaux antérieurs. En admettant toujours que les déblais stériles soient suffisants pour le remblai des excavations, on pourrait commencer immédiatement les tailles, à partir du point où le gîte aurait été atteint par le puits ou la galerie d'extraction, en remblayant à mesure derrière soi, et ménageant seulement les voies nécessaires au roulage et à la circulation de l'air. C'est ainsi que dans la mine d'Andreasberg, une grande taille dont le front est en gradins droits s'étend directement de chaque côté du puits, foncé suivant l'inclinaison du filon, sans aucuns travaux préliminaires de recherche ou de division en massifs, *fig.* 3 et 4, *Pl. XX.*

Exploitation de la houille dans le département du Nord et le Hainaut. — Les couches de houille peu puissantes des environs de Valenciennes (Nord), et du couchant de Mons en Belgique, sont exploitées d'une manière analogue. La *fig.* 5, *Pl. XX*, représente deux tailles d'exploitation conduites à partir du point G où on suppose qu'une couche de houille d'une faible inclinaison a été atteinte par une galerie à travers bancs. V, V', est une voie à peu près de niveau, dite *chasse* ou voie de fond, exécutée de part et d'autre de la galerie G, suivant la direction de la couche, sauf une légère pente ménagée, pour la facilité du roulage, vers la galerie G. Le front de chaque taille est divisé en quatre gradins renversés. On a ménagé dans les remblais, en arrière du front de taille, les voies à peu près horizontales *a*, *a*, *a*, *a'*, *a'*, *a'* et les voies obliques ou diagonales *r'*, *r* pour le transport de la houille. A la partie supérieure des remblais, est une voie R, R' qui communique avec une galerie à travers bancs G', par laquelle le courant d'air qui arrive par la galerie G revient au jour, après avoir circulé sur les fronts des tailles et dans les voies R, R' dans le sens indiqué par les flèches.

Les voies de fond V, V' sont toujours poussées en avant des fronts de taille, exécutées sur une largeur et une hauteur suffisantes pour qu'on puisse y établir une voie de fer pour le transport souterrain de la houille, et solidement boisées. Dans les couches des environs d'Anzin et de Mons, dont la puissance est habituellement au dessous d'un mètre et ne dépasse presque nulle part 1m,30, on entaille le mur de la couche, et quelquefois le toit et le mur, pour donner à ces voies une hauteur suffisante. Les déblais résultant de ce travail sont employés au remblai des excavations en arrière des tailles. Dans les couches d'une faible inclinaison, le front de chaque gradin a 10 mètres de hauteur mesurés suivant l'inclinaison de la couche, et les fronts des gradins sont d'environ 10 mètres en arrière l'un de l'autre. Deux ouvriers sont ordinairement placés devant chaque gradin; ils havent soit au sol de la couche et dans le mur, soit dans une autre partie de la couche, quand il s'y trouve un lit mince de schiste tendre. L'entaille du havage est poussée à une profondeur aussi grande que possible. Ils font ensuite une coupure verticale à la partie supérieure du gradin, et abattent la houille ainsi dégagée sur quatre faces, au moyen de coins et quelquefois à la poudre. La houille abattue et dépecée est transportée par la voie horizontale ménagée dans les déblais, qui part du pied du gradin et va rejoindre la diagonale aboutissant à la voie de fond. Deux ouvriers avancent ordinairement d'un mètre par jour sur le front d'un gradin de 10 mètres. Ainsi chacun d'eux arrache par

jour un cube dont la base est une surface de 5 mètres carrés, et dont la hauteur est égale à la puissance de la couche. Ils soutiennent provisoirement le toit, en arrière de la taille, par un boisage qui consiste en pièces de bois nommées *ralonges*, que l'on applique contre le toit, et qui sont soutenues par des étais appuyés sur le mur et érigés perpendiculairement au plan de la couche. Quand cela est nécessaire, on place entre les ralonges et le toit des bois de garnissage. Les ouvriers rejettent derrière eux les matières stériles qui se trouvent dans la couche de houille et qui résultent principalement du havage. Le remblai est complété par les déblais provenant du creusement de la voie de fond. La mise en place de ces déblais se fait après que la journée des ouvriers employés à l'abattage de la houille est terminée. Le remblai, sans être complet, suffit néanmoins, avec les boisages dont nous avons parlé, pour prévenir des éboulements immédiats et partiels. Le terrain éprouve, à la suite d'une exploitation étendue, un mouvement général, par suite duquel le toit vient s'asseoir sur les remblais; mais il n'en résulte aucun inconvénient, aucune infiltration des eaux supérieures, si abondantes dans les terrains crétacés qui recouvrent le terrain houiller. Cependant ce mouvement se propage quelquefois jusqu'à la surface du sol, si bien que les murs sont ébranlés ou lézardés, sans que les eaux se fassent jour. Ces effets sont dus certainement à la présence des bancs épais d'argiles appelés dièves, qui séparent le terrain houiller des *niveaux d'eau*, et qui, en vertu de leur nature molle et plastique, éprouvent des mouvements assez considérables, sans se fissurer de manière à livrer passage aux eaux qu'elles retiennent.

Dans les couches ou parties de couches fortement inclinées, on diminue la hauteur de chaque gradin qu'on réduit à 2 mètres environ; on ne laisse pas de voie horizontale au milieu des déblais, et la houille des gradins supérieurs arrive à la voie de fond en passant devant les gradins inférieurs. La *fig.* 1, *Pl. XXI*, représente une taille semblable. V est la voie de roulage située au bas des tailles et aboutissant à la galerie à travers bancs G qui conduit au puits d'extraction; *u* est la voie de retour d'air située au haut des tailles, qui aboutit à la galerie G′, laquelle est en communication avec un autre puits par lequel le courant d'air revient au jour, après avoir circulé dans la mine.

La *fig.* 2, *Pl. XXI*, représente une taille par gradins dont le front très-étendu est parallèle à la direction de la couche. P est le puits d'épuisement, P′ le puits d'extraction, V la galerie de roulage principale qui est au bas des tailles, U la voie par laquelle les eaux

arrivent au puisard du puits P, où elles sont reprises par des pompes, *a*, *a*, *a* sont des voies ménagées au milieu des déblais, parallèlement à l'inclinaison de la couche, pour conduire la houille à la voie de roulage. On voit à l'angle de chaque gradin une coupure qui est faite pour préparer l'abattage de la houille. Cette disposition des tailles convient au cas où les couches ont une inclinaison faible, qui ne dépasse pas 10 à 12 centimètres par mètre sur le plan horizontal.

Exploitation par grandes tailles et par compartiments. — Dans l'exploitation des gîtes horizontaux ou très-faiblement inclinés sur le plan horizontal, les tailles, au lieu d'être disposées en gradins, peuvent être menées sur un seul front d'une grande longueur, qui est parallèle, soit à la direction, soit à l'inclinaison de la couche. On a alors ce qu'on appelle des *ouvrages par grandes tailles*. Les excavations sont encore remblayées à fur et mesure par les déblais stériles provenant du gîte lui-même, ou de l'entaillement du mur ou du toit dans les voies principales. On doit toujours ménager, au milieu des remblais, des voies pour le transport souterrain des minerais, le passage des ouvriers et la circulation de l'air.

La *fig.* 5, *Pl. XXI*, représente une couche exploitée ainsi par grandes tailles. On peut supposer que cette couche est horizontale, ou légèrement inclinée de B vers A. P représente le puits d'extraction ; P′ un second puits qui sert à l'épuisement des eaux et à la circulation de l'air. AB est une voie de roulage principale, horizontale, ou ascendante suivant une pente très-petite, à droite et à gauche de laquelle sont établies plusieurs grandes tailles dont le front est parallèle à l'axe de la voie AB. Pour consolider la voie de roulage et rendre l'entretien du boisage moins dispendieux, on a ménagé, à droite et à gauche, dans le gîte, des massifs intacts et percés seulement des ouvertures nécessaires pour la communication avec les tailles. Les tailles elles-mêmes peuvent être séparées l'une de l'autre par des massifs intacts, que l'on enlèvera ultérieurement, quand les premières tailles seront arrivées aux limites du champ d'exploitation. Il est utile d'isoler ainsi les grands chantiers d'exploitation les uns des autres, lorsque l'on a à redouter des accidents de nature à obliger de suspendre les travaux d'exploitation pendant un temps plus ou moins long, tels que des irruptions subites d'eaux contenues dans de vieux travaux dont la position n'est pas bien connue, des explosions de gaz inflammable dans les mines où ces gaz sont abondants, l'inflammation spontanée de minerais combustibles, telle que la houille ; la division des travaux de la

mine en quartiers séparés par de forts massifs, percés seulement de galeries peu nombreuses et solidement boisées ou muraillées, quand cela est nécessaire, permet, en cas d'accidents de ce genre, d'isoler, par des serrements ou digues en bois ou en maçonnerie, le quartier où l'accident a eu lieu, du reste de la mine où l'exploitation peut être continuée, tandis que, sans cette précaution, la mine entière devrait être abandonnée jusqu'à ce qu'on eût porté remède au mal. L'inspection de la *fig.* 3 suffit d'ailleurs, avec les explications précédentes, pour qu'on se rende compte du système d'exploitation dont il s'agit. On y distingue les voies d'aérage ménagées sur le pourtour des tailles remblayées, entre les remblais et les parties intactes du gîte, les voies de transport aboutissant au milieu de la longueur des tailles et ménagées au milieu des remblais. Les flèches indiquent le sens du courant d'air, qui descend par le puits d'extraction P, se porte à l'extrémité de la voie de roulage AB, se divise là en deux branches, dont l'une circule sur le front des tailles de droite, et l'autre sur le front des tailles de gauche. Ces branches se réunissent de nouveau au bas du puits P′, par lequel le courant remonte au jour. La circulation de l'air dans le sens indiqué par les flèches est forcée par des portes indiquées dans la figure, et sur lesquelles nous reviendrons dans le chapitre spécialement consacré à l'aérage.

La division en compartiments peut être combinée avec tous les systèmes d'exploitation. — L'ouvrage par *grandes tailles* est généralement appliqué aux couches de houille peu inclinées, et d'une puissance égale ou inférieure à 1m,50, qui existent dans beaucoup de provinces de l'Angleterre et du pays de Galles, notamment dans les comtés de Lancastre, de Derby, d'York, de Flint, etc. (la plupart des couches des environs de Newcastle-sur-Tine dans le Northumberland, de Whitehaven dans le Cumberland, du sud du pays de Galles, sont déjà trop puissantes pour que ce système puisse leur être appliqué sans modifications.) Il s'applique également avec avantage aux gîtes de fer carbonaté lithoïde en rognons disséminés dans des argiles qui servent de remblais, et même aux carrières souterraines de pierres à chaux ou de pierres à bâtir, formant des couches peu puissantes et subdivisées par des lits de matières tendres ou de peu de valeur que l'on laisse dans les excavations. Quant à la division en quartiers isolés ou compartiments, elle n'est point particulière au mode d'exploitation par grandes tailles et s'applique à tout autre mode d'exploitation, dans les cas que nous avons signalés. Elle est surtout usitée dans les grandes mines de houille plus sujettes

que les autres à des invasions d'eaux, des explosions de gaz, des incendies spontanés. Il est d'ailleurs presque inutile de dire que les massifs considérables laissés entre les quartiers isolés, où sont établis les premiers travaux, et le long des voies principales ne sont pas, pour cela, définitivement perdus et abandonnés. Ils sont repris, en commençant par les plus éloignés des puits d'extraction et d'épuisement, ou autres ouvertures qui mettent le gîte en communication avec le jour, lorsque l'exploitation est terminée dans les quartiers isolés. Leur exploitation se fait suivant une méthode semblable à celle qui a été suivie antérieurement.

Toutes les méthodes précédentes peuvent être comprises sous la dénomination générale d'exploitations par grandes tailles, couchées dans le plan du gîte et remblayées à mesure. — Carrières de pierres à bâtir des environs de Paris. — Si nous revenons sur les méthodes précédemment décrites et auxquelles on a donné les noms divers d'exploitations par gradins droits, par gradins renversés, par grandes tailles ou longues tailles, nous verrons qu'elles ne diffèrent pas essentiellement les unes des autres et peuvent être comprises sous la dénomination générale d'*exploitation par grandes tailles, couchées dans le plan du gîte et remblayées à mesure*, qui leur convient à toutes. La forme des fronts de taille qui sont découpés en gradins renversés, en gradins droits, ou s'étendent suivant une ligne droite, détermine les variétés ou les subdivisions de ce mode d'exploitation. Il est applicable à tous les gîtes d'une faible puissance, dans lesquels les minerais sont associés à des matières stériles en quantité suffisante pour le remblai des excavations. Il n'est point du tout nécessaire que ce remblai soit complet. Il faut et il suffit qu'il puisse, à l'aide de quelques boisages appropriés, prévenir les éboulements partiels et immédiats devant le front de la taille, de façon à ce que les mouvements de terrain se fassent en arrière des ouvriers, dans les parties déjà exploitées. Tantôt le remblai est fait avec des déblais informes jetés à la pelle et réparti uniformément dans les excavations, tantôt il est fait en partie avec des pierres choisies parmi les déblais, avec lesquelles on construit des piliers en pierre sèche, dont les intervalles ne sont remplis que très-incomplétement par des déblais menus et informes. C'est ainsi qu'on exploite aux environs de Paris, dans les plaines de Vaugirard et de Montrouge, les carrières de calcaire grossier employé comme pierres de tailles et comme moellons. Le calcaire est en bancs horizontaux de $0^m,50$ à $0^m,70$ d'épaisseur, séparés par des lits de substances marneuses et tendres, dans lesquelles les carriers creusent ou

havent pour dégager la roche. L'ensemble des bancs exploités dans une carrière a ordinairement de 1 mètre à $1^m,70$ de puissance. On oriente les fronts de taille parallèlement aux plans de divisions ou plutôt aux fissures naturelles et à peu près verticales des bancs, ce qui facilite l'abattage. On abandonne dans la carrière les pierres ou moellons les plus mauvais, avec lesquels on construit, de distance en distance, en arrière des tailles, des piliers sans mortier dits *piliers à bras*. On rejette entre eux les menus déblais provenant des lits marneux, et l'on enlève ainsi la totalité des bancs de pierre. La profondeur des exploitations étant ordinairement de 10 à 12 mètres et n'excédant jamais 30 mètres, le terrain éprouve, à la suite de l'exploitation, un tassement général et uniforme qui est sensible jusqu'à la surface. Mais ce tassement, qui suffirait pour lézarder des murs, n'est pas assez considérable pour nuire à la culture des champs.

Houillères de Deebank, dans le Flintshire. — Je citerai encore, comme un exemple remarquable d'exploitation par grandes tailles, malgré l'insuffisance apparente des remblais, la houillère de Deebank, ouverte sur la rive occidentale de la Dee, dans le comté de Flint. On y exploite deux couches de houille principales, dont la direction est à peu près N.-S., l'inclinaison de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$ vers l'est. Leur puissance est moyennement de 3 yards pour l'une, et de 5 yards pour l'autre ($2^m,70$ et $4^m,50$). Elles plongent sous le lit de la Dee qui, sur ce point, forme plutôt un golfe qu'une rivière. Sa largeur est de 4 milles anglais ($6^{kil.},4$ environ), son lit est à peu près à sec à marée basse, tandis que des bâtiments d'un tonnage considérable peuvent y naviguer à marée haute et viennent charger, à une petite distance de la mine, des houilles qui sont transportées principalement en Irlande. L'une et l'autre couche sont exploitées par grandes tailles, malgré leur puissance considérable. Le puits d'extraction est foncé à une petite distance de la Dee. Du point où il atteint l'une des couches part une galerie inclinée suivant la ligne de plus grande pente, dirigée par conséquent sous le lit de la rivière. Dans cette voie, est établi un chemin de fer sur lequel les wagons chargés de houille sont traînés au moyen d'un câble en fer, qui s'enveloppe sur un tambour mû par une machine à vapeur installée à la surface. Des deux côtés s'embranchent des galeries horizontales, à une distance de 70 mètres l'une de l'autre mesurée suivant l'inclinaison. Les tailles sont prises en montant à partir de ces dernières galeries. Leurs fronts sont parallèles à la direction de la couche. Ils ont une étendue de 70 yards

(64 mètres environ) en ligne droite. On ménage des massifs de houille d'une épaisseur assez grande entre les tailles, le long de la grande voie de roulage inclinée, et des voies horizontales qui s'y rattachent. Les ouvriers placés sur le front d'une taille, au nombre de 6 à 10, havent au sol dans un lit d'argile tendre, sur une profondeur de 3 à 4 pieds (1 mètre à 1m,30). Ils abattent ensuite la houille à la poudre, et soutiennent provisoirement le toit par des étais en bois. On prend sur un autre point de la mine des remblais que l'on dispose de façon à former un mur parallèle au front de taille et aussi rapproché que possible, en ménageant seulement l'espace nécessaire au travail des mineurs. Préalablement, la houille abattue a été dépecée et transportée au dehors. Le travail est ainsi continué, et le toit est soutenu tant avec des boisages qu'avec des remblais rapportés d'un autre point de la mine. On ménage au milieu du massif de remblais, à mesure qu'on avance, des espaces vides solidement boisés de forme circulaire ou elliptique, et que l'on met en communication par une galerie étroite avec le front de taille. Quand, dans la suite du travail, on a ainsi établi une ou plusieurs chambres au milieu des déblais, on provoque des éboulements dans leur intérieur. Il suffit, pour cela, d'enlever les bois, ce que l'on peut faire assez facilement, et sans danger pour les ouvriers, qui se mettent à l'abri dans les galeries étroites aboutissant aux tailles. Les matériaux qui proviennent des éboulements sont rapportés devant le front de ces dernières, où ils servent à bâtir les murs qui supportent le toit, et maintiennent ouvert l'espace nécessaire au travail des ouvriers, dont la largeur est d'environ 1 mètre.

Le genre de travail que nous venons de décrire est ici d'autant plus hardi, que le gîte s'étend sous le lit d'une large rivière ou plutôt d'un bras de mer. Cependant les eaux n'envahissent point la mine, ce qui tient certainement à la nature particulière des assises supérieures aux couches de houille. Au reste, l'exploitation de la houillère de Deebank doit être considérée comme tout à fait exceptionnelle, dans les circonstances où elle se trouve placée, et j'ai cité cet exemple, non pas comme pouvant être imité fréquemment, mais pour faire voir que le mode d'exploitation par grandes tailles est loin d'exiger un remblai aussi complet qu'on serait d'abord tenté de le croire, et qu'il peut même, dans quelques circonstances favorables, s'appliquer à des gîtes d'une assez grande puissance. Un toit à texture schisteuse formé de feuillets d'une résistance moyenne et légèrement flexibles, se prête très-bien à ce genre de travail, à cause de la tendance des feuillets schisteux à se gonfler et à s'affaisser en masse

sans grandes dislocations. C'est le cas des couches de houille du département du Nord et de la partie limitrophe de la Belgique, qui sont généralement recouvertes par des bancs de schistes houillers d'une faible ténacité. Une précaution nécessaire, lorsque la puissance du gîte est considérable par rapport à la quantité des remblais, consiste à ménager, le long des voies principales de roulage, des massifs intacts d'une assez grande épaisseur, qui sont repris à la fin de l'exploitation, en revenant vers les puits ou galeries d'extraction. Cela conduit à la division en quartiers ou compartiments dont nous avons déjà vu un exemple.

Ordre dans lequel on exploite les massifs, dans un gîte incliné. — Dans le cas de plusieurs gîtes parallèles et rapprochés, on exploite d'abord les gîtes supérieurs. — Quelle que soit, au reste, la forme des fronts de taille, rectiligne, ou en gradins, on voit que, dans le système d'exploitation par grandes tailles, un filon ou une couche sont exploités en procédant de haut en bas. Lorsque le gîte a été divisé en massifs rectangulaires, et que le front de taille est en gradins renversés, chaque massif est exploité en procédant de bas en haut, mais les massifs supérieurs sont toujours exploités avant les massifs inférieurs. Lorsqu'il existe plusieurs gîtes parallèles en filons ou en couches, et que ces gîtes sont assez voisins pour qu'il soit possible de les exploiter par les mêmes puits et galeries à travers bancs, il convient, en général, que l'exploitation procède d'un gîte à l'autre de haut en bas, c'est-à-dire que les gîtes supérieurs soient exploités avant les gîtes inférieurs. La raison en est que les mouvements de terrain qui sont la suite d'un remblai imparfait des excavations se font sentir aux couches supérieures jusqu'à une grande distance, et ne se propagent jamais dans les couches inférieures qu'à une distance médiocre. Il ne faut donc pas exploiter les gîtes inférieurs avant ceux qui leur sont superposés, parce que l'exploitation de ceux-ci serait rendue plus coûteuse et plus difficile par suite des ébranlements et de la dislocation du terrain. Cela n'empêche pas d'exploiter simultanément plusieurs gîtes parallèles; il suffit que l'exploitation dans les gîtes supérieurs ait précédé celle de la partie correspondante dans les gîtes inférieurs.

Le principe posé ci-dessus sur l'ordre dans lequel plusieurs gîtes parallèles et voisins doivent être exploités est d'autant plus important que le remblai est moins complet, et que les gîtes sont plus rapprochés. Il s'applique surtout aux couches de houille parallèles et rapprochées, existantes dans un même bassin houiller, parce que

les ébranlements résultant de l'exploitation des couches inférieures pourraient déterminer l'écrasement de la houille des couches supérieures, de manière que celles-ci fourniraient, en général, une proportion très-forte de houille menue, d'une valeur généralement beaucoup moindre que celle de la houille en gros fragments.

Exemples du prix de l'abattage, dans les exploitations de la houille par grandes tailles. — Le prix de l'entaillement dans l'exploitation par grandes tailles varie dans des limites très-étendues, avec la dureté et la texture de la roche. Toutefois, le mètre cube d'excavation revient toujours beaucoup meilleur marché qu'en galerie. Voici quelques exemples relatifs à l'exploitation de la houille.

A Anzin, ainsi que nous l'avons dit, un ouvrier avance moyennement d'un mètre par jour sur un front de 5 mètres; le massif abattu est donc un parallélipidède rectangle de 5 mètres carrés de base sur toute la hauteur de la couche. Cette hauteur étant ordinairement de $0^{m},66$, le cube de la roche enlevée dans une journée d'ouvrier est de $3^{m\,c}$, 44. Si la couche était composée de houille pure, le produit d'une journée d'ouvrier serait d'environ 4,128 kilogrammes, en prenant pour le poids du mètre cube de houille massive 1.200 kilogrammes, qui est en dessous du poids spécifique réel de la plupart des houilles. Mais, à cause des lits de pierres ou de schistes mêlés à la houille, le produit du travail d'un ouvrier est, en général, beaucoup moindre et ne dépasse guère 20 quintaux métriques.

Le produit du travail d'un ouvrier à la veine est à peu près le même dans les mines du Hainaut.

Dans la mine de houille de Crumlyn, comté de Monmouth, on exploite par grandes tailles une couche sensiblement horizontale de 4 pieds anglais ($1^{m},20$ d'épaisseur). La couche fournit beaucoup de grosse houille. Le menu, qui est peu abondant et a peu de valeur, est presque entièrement laissé dans les remblais. Les ouvriers à la taille reçoivent 1 fr. 90 c. par 1.000 kilogrammes de houille en gros morceaux. Moyennant ce prix, ils sont chargés d'entailler le sol de la couche sur un des côtés de la taille, afin d'obtenir la hauteur nécessaire pour la galerie de roulage qui est munie d'un chemin en fonte de fer à ornières creuses (trammroad), sur lequel les wagons sont traînés par des chevaux.

Exploitation des gîtes d'une grande puissance. Méthode en travers. — Quelques filons métallifères, parmi lesquels on cite ceux de la Hongrie, quelques amas métalliques de forme irrégulière ont une trop grande puissance, pour qu'il soit possible d'y pratiquer des excavations couchées dans le plan du gîte, et limitées par ses deux

épontes. Quand les roches stériles qui accompagnent le minerai, sont en quantité suffisante pour le remblai complet des chantiers, on leur applique généralement un mode d'exploitation dit méthode *en travers*, parce que les tailles sont transversales au gîte. Celles-ci consistent ordinairement en galeries horizontales, plus ou moins larges, dont on soutient provisoirement les parois par des boisages, et que l'on remblaye ultérieurement avec les déblais stériles provenant du creusement d'autres galeries situées dans le voisinage.

Voici comment ce système est appliqué, d'après Ferber traduit par M. de Villefosse, aux filons métallifères très-puissants des environs de Schemnitz, en Hongrie.

« Un coup d'œil sur les deux coupes verticales, *fig.* 1 et 3, et sur le plan, *fig.* 2, *Pl. XXII*, fera reconnaître le mur *mm* et le toit *tt* du gîte de minerais qu'il s'agit d'exploiter. Une première galerie d'allongement EF étant pratiquée au mur, on commence par établir, perpendiculairement à cette galerie, des tailles transversales *a*, *a*, telles qu'entre deux il se trouve un espace suffisant pour en placer trois autres *b*, *c*, *b* (*fig.* 2). De chacune des tailles *a*, on obtient le minerai, en s'avançant, à l'aide du boisage, jusqu'à ce que le toit *t* soit atteint ; cela fait, on remblaye ces premières tailles *a*; les déblais qu'on y entasse, pour cet effet, sont déposés sur des pièces de bois, dont le sol est couvert, afin que si, par la suite, on exploite au dessous, il ne puisse survenir aucun éboulement. Ces mêmes tas de déblais ne s'élèvent que jusqu'à quelques pouces du faîte des tailles *a*, afin que l'exploitation de l'étage supérieur soit plus facile, le gîte de minerais s'y trouvant déjà libre par sa face inférieure.

« A mesure que les tailles *a* du premier étage EF sont remblayées, on en retire la plus grande partie du boisage, qui est de nouveau employée ailleurs. L'exploitation et le remblayement de ces premières tailles étant terminés, on exploite de même les tailles intermédiaires *b*, *c*, *b*, soit en commençant par les tailles *c*, soit en commençant par les tailles *b*, suivant ce qu'indiquent les localités. La *fig.* 2 fait voir que l'on peut s'arranger de manière qu'en cas de nécessité, il y ait toujours, entre deux tailles en activité, la distance de trois tailles, soit intactes, soit remblayées : ainsi, on peut enlever toute la portion du gîte de minerais qui correspond à un premier étage EF, et cette portion se trouve remplacée par les déblais qui servent de remblai.

« En même temps, on prépare l'exploitation des étages supérieurs $E'F'$, E^2F^2, E^3F^3, d'une manière analogue : pour cela, des puits hh^3, kk^3 sont pratiqués, de bas en haut, sur le mur *m* du gîte, et de ces

puits partent des galeries d'allongement, établies successivement au niveau des étages qui s'élèvent ainsi l'un au dessus de l'autre (Voy. *fig.* 3).

« D'après ce qui précède, on reconnaîtra les objets suivants sur les trois figures :

« *a*, *a*, premières tailles remblayées, au premier étage EF (*fig.* 2).

« *b*, *b*, autres tailles remblayées postérieurement, sur le même étage.

« *c*, taille actuellement en exploitation (*idem*).

« *d*, front de taille, ou lieu d'entaillement actuel du gîte exploitable.

« *e*, massif de roche stérile, réservé dans les tailles comme pilier de sûreté.

« *f*, galeries par le moyen desquelles on a tourné autour du massif *e*, pour aller établir, au toit *t*, un atelier suivant la direction du gîte.

« *g*, remblai, derrière le massif *e*.

« *h*, *k*, deux puits, montant du premier étage EF, aux étages supérieurs d'exploitation, ainsi qu'il a été dit ci-dessus.

« *m*, mur, et *t*, toit du gîte de minerais.

« Dans le second étage E'F', la galerie d'allongement F' (*fig.* 1 et 3) n'est pas encore totalement percée; mais elle est plus avancée que celle du troisième étage, qui l'est elle-même plus que la galerie du quatrième. De cette disposition, il résulte un aspect général d'ouvrage à gradins renversés, sur la *fig.* 3.

« Les choses étant en cet état, il est facile de voir ce qui suit : dès qu'on achève l'exploitation des tailles *c*, au premier étage, on peut commencer l'exploitation des tailles *a'*, *a'* au second, y répéter ensuite ce qui a été fait à l'égard du premier, et, montant ainsi d'étage en étage, enlever tout le gîte de minerais, qui se trouve remplacé par des déblais.

« Dans l'emploi de ce mode, on a donc l'avantage de ne rien perdre; mais ce n'est pas le seul : les facilités qu'offre l'ouvrage en travers, pour l'emplacement des déblais, souvent incommodes dans une mine, et coûteux à extraire, la solidité qu'il assure par le remblayement, l'économie de bois qui en résulte : enfin, l'économie qui a lieu sur le prix de l'entaillement de la roche, à compter du second étage; voilà autant de motifs qui recommandent ce mode d'exploitation. Quelquefois il exige qu'on se procure des déblais, par le moyen de quelques percements accessoires; mais alors, il est facile d'établir, dans le voisinage des travaux, une vaste excavation en forme

borrow credit or vacuities.

de voûte, espèce de carrière souterraine qu'on abandonne à l'éboulement, avec précaution, et où les déblais s'accumulent en peu de temps, sans des frais trop considérables. »

Il n'arrive presque jamais qu'une exploitation puisse être conduite aussi régulièrement que celle qui a été décrite ci-dessus. Dans les filons puissants, le minerai n'est pas en général disséminé à peu près uniformément dans la masse. Il est en veinules ressemblant à des filons plus étroits encaissés au milieu de la masse et affectant des directions variables. Néanmoins les gîtes de ce genre peuvent être exploités par étages successifs pris de bas en haut. A chaque étage, les tailles ou plutôt les galeries se rattacheront à la galerie générale d'allongement assise sur le mur du gîte, et suivront la direction des veines riches en minerais, au lieu d'être poussées avec régularité dans une direction perpendiculaire à celle du filon. Ces galeries, non contiguës les unes aux autres et séparées par des massifs stériles qu'on laissera en piliers, seront successivement remblayées, et de nouvelles galeries seront prises à l'étage immédiatement supérieur par dessus ces remblais.

On remarquera que, dans la méthode d'exploitation en travers, telle qu'elle a été décrite par les auteurs allemands, et d'après eux par M. de Villefosse, l'abattage dans les étages supérieurs est rendu plus facile, parce que la roche est déjà libre et dégagée sur sa face inférieure. D'un autre côté, le remblai des excavations doit coûter cher, parce que, lorsqu'on pratique une des tailles ou plutôt des galeries, on est obligé d'extraire à la fois les minerais et les déblais stériles, que l'on porte dans une des galeries voisines déjà terminées. Ce mouvement des matières doit être d'autant plus coûteux, qu'il est indispensable que le remblai soit complet, afin que la roche des étages supérieurs ne vienne pas à s'ébouler complétement, circonstance qui donnerait lieu à de graves difficultés, et à une consommation énorme de bois d'étais.

Exploitation par grandes tailles transversales. — Il pourrait être avantageux, dans le cas où les roches stériles associées au minerai suffiraient à un remblai presque complet, et où les minerais utiles seraient disséminés dans toute la masse du filon, de substituer au système des galeries décrites par Ferber, qui n'ont qu'environ 3 mètres de largeur, de grandes tailles couchées dans un plan horizontal, et dont le front pourrait être d'ailleurs parallèle ou perpendiculaire à la direction du gîte. Les déblais stériles seraient rejetés en arrière du front de taille, comme cela se pratique ordinairement dans les travaux de ce genre, et l'on ménagerait autour du massif

des remblais les deux voies indispensables pour l'aérage et le roulage, ce qui n'empêcherait pas d'ailleurs de ménager d'autres voies de roulage au milieu des déblais, si la nécessité s'en faisait sentir. On diminuerait ainsi les frais de boisage provisoire des galeries, les frais de transport des remblais, et l'excavation même serait plus économique dans les tailles ainsi conduites que dans des galeries; les étages supérieurs seraient de même établis sur les remblais des étages inférieurs, que nous supposons ici complets. Si les poteaux ou étais provisoires nécessaires pour soutenir le toit des tailles avaient leur pied appuyé directement sur ces remblais, ils pourraient s'y enfoncer; mais une simple semelle consistant en un pièce de bois large, ferait disparaître cet inconvénient. En définitive, il y a un avantage évident à attaquer à la fois, sur la hauteur d'un même étage, la totalité des parties du filon qui contiennent des minerais susceptibles d'être exploités, afin de laisser à fur et mesure les déblais derrière soi, au lieu de les transporter dans d'autres tailles déjà terminées.

Si les tailles n'étaient pas à peu près complétement remblayées, on pourrait procéder par étages successifs pris en descendant.— Si les déblais stériles n'étaient pas suffisants pour opérer un remblai solide et complet, l'exploitation par tailles transversales et par étages successifs pris en remontant deviendrait évidemment impossible; car après qu'on aurait exploité sur la hauteur de deux ou trois étages, on aurait d'énormes éboulements au milieu desquels il serait bien difficile d'établir des travaux quelque peu réguliers.

Il est évident que, dans ce cas, il faudrait, à moins que l'on n'eût la facilité d'amener du jour, à bon marché, des déblais suffisants pour compléter le remplissage des excavations, il faudrait, dis-je, exploiter par étages successifs pris en descendant et non en remontant. Concevons, par exemple, qu'un étage ait été exploité et qu'il s'y soit fait des éboulements que le défaut de remblais rend inévitables, la partie du gîte inférieure à ces éboulements est néanmoins intacte et sa solidité n'est nullement altérée. Si on prend immédiatement au dessous des éboulements, à partir d'une galerie d'allongement assise sur le mur du gîte, des galeries transversales à la direction du gîte, dont la largeur sera d'ailleurs réglée d'après la solidité de la roche, et celle des déblais résultant des éboulements supérieurs, il sera facile de maintenir par des boisages cette galerie ouverte, jusqu'à ce qu'elle ait atteint le toit du gîte. Les minerais seront portés au dehors : les matières stériles seront, autant que possible, réunies sur un des côtés de la galerie, pour laisser un passage libre, et éviter cependant de les extraire. Quand la galerie sera ter-

leur
avoid

minée. on enlèvera les boisages en reculant du toit au mur du gîte, de manière à provoquer l'éboulement du plafond de la galerie qui est lui-même formé de déblais tassés qui viendront remblayer l'excavation. On empêchera par un rempart construit en grosses pierres, ou en bois, ces déblais de couler jusque dans la galerie d'allongement principale qu'il faut maintenir ouverte.

Ce travail n'a rien que de très-facile, il est beaucoup moins dangereux que beaucoup de travaux analogues qui sont journellement exécutés dans les mines, et présente d'ailleurs beaucoup d'analogie avec ce qui est exécuté dans des couches de houille d'une grande puissance, en Silésie et ailleurs.

Nous aurions pu, du reste, placer les gîtes auxquels il s'applique dans la catégorie de ceux où les matières stériles ne suffisent point au remblai des excavations; mais il est clair que la distinction entre ces deux catégories n'est point tranchée dans la nature, et il nous a paru utile de rapprocher deux modes d'exploitation applicables à des gîtes qui ne différeraient entre eux que par l'abondance plus ou moins grande des matières stériles propres aux remblais.

Exploitation par étages successifs, des gîtes puissants et peu inclinés. Les tailles ne sont plus transversales. — La méthode précédemment décrite a été appelée méthode *en travers*, parce que dans les filons puissants et très-inclinés de la Hongrie ; où elle a été d'abord appliquée, les tailles sont couchées dans un plan transversal au plan moyen du gîte. Il est évident que la dénomination de méthode d'exploitation par étages horizontaux successifs pris en remontant conviendrait tout aussi bien à l'opération pratiquée en Hongrie. D'ailleurs une méthode entièrement semblable serait applicable à des amas irréguliers, ou même à des couches horizontales et puissantes, dans lesquelles les gangues associées au minerai suffiraient au remblai. Dans ce dernier cas, les tailles ne seraient plus transversales, et la dénomination de méthode par étages horizontaux successifs, pris en remontant, serait la seule convenable.

Quand les gangues ne suffisent pas à un remblai soigné, une méthode analogue peut-être appliquée avec économie, ainsi que nous l'avons vu : seulement les étages horizontaux successifs sont pris en descendant et non en remontant.

Gîtes dans lesquels les matières stériles ne sont pas en assez grande quantité pour opérer un remblai capable de soutenir les excavations. — L'exploitation à chaque étage peut d'ailleurs être conduite d'après les principes que nous allons exposer en traitant des gîtes de la seconde catégorie.

Les gîtes de la deuxième catégorie, dans lesquels les matières stériles ne sont pas en assez grande quantité pour opérer un remblai capable de soutenir les excavations, eu égard à la puissance du gîte et à la nature du toit et du mur, sont exploités par des méthodes diverses, suivant la puissance du gîte, son inclinaison, la solidité de la substance exploitée, la valeur de cette substance et plusieurs circonstances locales. Ces méthodes peuvent être classées sous les dénominations suivantes :

1° Exploitation par massifs ou piliers longs qui ne sont pas abandonnés ;

2° Exploitation par piliers courts ou carrés abandonnés en tout ou en grande partie ;

3° Exploitation par remblais rapportés ;

4° Exploitation par éboulements.

D'ailleurs, lorsque à cause de la grande puissance du gîte ou du défaut de solidité de la roche, il n'est pas possible de prendre les tailles ou chantiers d'exploitation sur toute la puissance ou épaisseur du gîte, on exploite par étages successifs pris en montant ou en descendant, en appliquant à chaque étage l'une des méthodes énumérées ci-dessus.

1° *Exploitation par massifs ou piliers longs qui ne sont pas abandonnés.*

L'exploitation a deux époques; les chantiers ou galeries préparatoires; le dépilage. — Cette méthode s'applique à presque tous les gîtes d'une puissance moyenne, c'est-à-dire qui n'excède pas 3 mètres; elle convient surtout pour les couches de houille: elle a beaucoup d'analogie avec la méthode d'exploitation des filons ou couches d'une faible puissance dans lesquels le remblai est possible, et n'en diffère essentiellement qu'en ce que, par suite du défaut de remblais, les vides se comblent, après l'exploitation, par l'affaissement du toit. Il en résulte qu'on ne pourrait qu'avec beaucoup de frais, entretenir des voies de roulage ou d'aérage dans les parties déjà exploitées. Il faut donc exploiter les massifs ou piliers longs avec beaucoup d'ordre, en commençant par les points les plus éloignés des puits d'extraction, et revenant vers ces points. En conséquence, l'exploitation se compose de deux opérations consécutives, savoir : 1° la formation des massifs longs, par l'exécution de galeries partant des puits ou galeries d'extraction, et qui sont, suivant les circonstances, de simples travaux préparatoires et de reconnaissance, ou de véritables chantiers ou tailles d'exploitation : 2° l'enlèvement

des massifs longs ou le dépilage, qui constitue ordinairement la partie la plus lucrative de l'exploitation, et qui doit se faire en revenant sur ses pas, et laissant ébouler derrière soi.

Les exemples suivants feront bien comprendre comment doit être conduite, dans diverses circonstances, une exploitation de ce genre.

Exploitation de la couche de houille dite du Sagnat à Roche-la-Molière (Loire). Remblais partiels. — La couche de houille du Sagnat, à Roche-la-Molière (Loire), a 1m,66 de puissance, une inclinaison de 20 degrés; son mur est très-solide. Au toit se trouve une épaisseur variable depuis 0m,18 jusqu'à 0m,66 de schiste, auquel succède un grès excessivement dur et solide, mais fissuré. Les eaux superficielles arrivent abondamment par ces fissures et coulent toujours dans la galerie ouverte au niveau le plus bas. La couche est de la houille pure, sauf un petit filet ou nerf assez tendre de 4 à 5 centim. d'épaisseur qui court, au tiers de la hauteur à peu près, parallèlement au toit et au mur. Le schiste que l'on appelle *faux toit* n'a point d'adhérence pour le grès qui est au dessus; il tombe de lui-même bientôt après que la houille est enlevée, à moins qu'il ne soit soutenu. C'est presque uniquement ce faux toit qui sert au remblai partiel des excavations.

Première époque de l'exploitation. Établissement des chantiers ou tailles. — A partir du puits d'extraction, et un peu au dessus de lui, on pousse une galerie d'allongement. Elle est légèrement inclinée vers le puits, pour faciliter le transport de la houille ; c'est d'ailleurs un chantier d'exploitation de 4 mètres de largeur, semblable à ceux qui seront établis plus haut. Contre le massif de houille inférieur est posée sur des traverses une voie de roulage en bois, au dessous de laquelle on a ménagé une rigole pour l'écoulement des eaux qui se rendent au puisard. Aussitôt que cette galerie est commencée, on exécute une taille montante suivant l'inclinaison de la couche. On lui donne environ 4 mètres de large, et de part et d'autre de celle-ci, on pousse des tailles ou chantiers parallèles à la voie de roulage inférieure, ayant aussi 4 mètres de large, et séparées les unes des autres, et de la voie de roulage par des piliers ou massifs longitudinaux de 5 à 6 mètres de large. Ces massifs sont recoupés à peu près du 12 en 12 mètres par des tailles montantes suivant la plus grande pente, lesquelles servent à l'aérage et au transport de la houille des chantiers supérieurs dans la voie de roulage principale. Les deux systèmes de tailles que nous venons d'indiquer sont poussés dans le sens de l'inclinaison, jusqu'aux vieux travaux supérieurs, dans le sens de la direction, jusqu'aux limites du champ

d'exploitation, qui peuvent être déterminées par de vieux travaux par une faille, ou enfin par la trop grande longueur que prendrait la voie de roulage. Quand cette dernière circonstance détermine seule la limite, on peut pousser les tailles horizontales à plus de 1,000 mètres du puits d'extraction.

Voici comment se fait l'abattage de la houille dans les tailles :

Deux ouvriers piqueurs, placés devant le front de la galerie, havent ordinairement dans un petit lit de schiste ou d'argile que nous avons dit se trouver au tiers de la hauteur de la couche. Le havage est poussé à une profondeur de 0m,50 à 1 mètre. Ils coupent ensuite sur les côtés, s'il en est besoin, et abattent avec des coins la partie de la couche supérieure à l'entaille ; puis ils font venir la banquette inférieure, en enfonçant verticalement des coins en fer tout contre le massif. Cette partie de la couche se détache le plus souvent, en glissant sur le sol. Quand elle est adhérente au sol, le travail est beaucoup plus pénible, et le moyen le plus économique de la détacher consisterait vraisemblablement à percer un ou deux trous de mine horizontaux tout près du mur de la couche. Après que les piqueurs ont abattu la quantité de houille qui constitue leur tâche journalière, des boiseurs viennent placer en arrière de la taille des poteaux de bois, afin de soutenir le faux toit. Ces poteaux, appelés *buttes*, suffisent pour cet objet, parce que les bancs de schiste, étant continus, peuvent être soutenus par un certain nombre de points d'appui assez distants les uns des autres. Lorsque les tailles sont plus avancées, on s'arrange de manière à placer sur d'autres points, pendant quelques jours, les ouvriers qui y étaient occupés. Pendant cette suspension de travail, on enlève les *buttes* qui soutiennent le faux toit, en commençant par celles qui sont au fond du chantier, et revenant vers l'extrémité des tailles. On ne laisse ainsi que très-peu de bois, seulement en quantité suffisante pour préserver l'ouvrier employé à leur enlèvement. Ce petit nombre de points d'appui n'étant plus suffisant, le faux toit tombe en écrasant les derniers poteaux. On reste plusieurs jours sans entrer dans la galerie, afin de laisser au toit le temps de se dépouiller complétement. Le maître mineur visite ensuite le chantier avec précaution, examine et sonde le toit, pour voir si le grès est partout à découvert, ce qui est le meilleur indice qu'aucun éboulement n'aura plus lieu. Il fait abattre avec le pic les portions de faux toit qui demeurent encore en l'air, parce qu'elles sont soutenues par des buttes qui ont résisté, ou par la houille des piliers. Des manœuvres sont alors placés dans les tailles; ils relèvent les schistes avec lesquels ils bâtissent, soit des piliers équidistants, soit des murs continus qui

sont appuyés contre le pilier inférieur à la taille, et qui s'élèvent jusqu'au toit de grès. On a soin de ménager l'accès des galeries descendantes dans les chantiers inférieurs. De cette façon, la partie de la taille contiguë au pilier inférieur est remblayée sur une étendue d'autant plus grande que l'épaisseur du faux toit s'est trouvée être plus considérable. Quand les murailles de remblai sont bâties, les ouvriers piqueurs peuvent rentrer dans la taille et la pousser plus loin, si elle n'a pas déjà atteint les limites du champ d'exploitation.

Les ouvriers piqueurs travaillent à tâche réglée; chacun d'eux doit abattre 60 hectolitres de houille par jour; mais ils reçoivent un salaire différent, suivant qu'ils ont fourni plus ou moins de charbon gros ou de charbon menu. Le prix payé est ordinairement de 22 cent. pour 5 hectolitres de charbon menu, et de 40 cent. pour 5 hectolitres de charbon gros dit *péra*. Ces prix varient d'ailleurs suivant la nature de la houille qui existe dans les tailles.

Deuxième époque de l'exploitation, ou dépilage. — Le dépilage, c'est-à-dire l'exploitation des piliers qui séparent les tailles horizontales et montantes les unes des autres, ne se fait que lorsque les tailles horizontales ont atteint les limites du champ d'exploitation. Voici comment on procède à cette opération.

On commence le dépilage à l'un des angles et au point le plus éloigné du puits d'extraction et de la voie de roulage. On attaque les piliers de bas en haut sur toute leur longueur, qui, d'après ce que nous avons vu, est à peu près de 10 à 12 mètres entre deux galeries montantes. On soutient le faux toit, à mesure que l'on avance, par des buttes, comme on le faisait dans l'exploitation en chantiers. On peut enlever ainsi tout le pilier, quand on pense que l'affaissement général du terrain supérieur sera sans inconvénient; mais lorsque cet affaissement pourrait avoir des résultats nuisibles, tels que l'élargissement des fissures qui existent dans la roche, et l'introduction d'une grande masse d'eau dans la mine, on se borne à enlever une portion du pilier, le quart ou la moitié, suivant que le remblai, fait au moyen du faux toit abattu, est plus ou moins complet, ou que l'on attache plus d'importance à prévenir les affaissements. Quoi qu'il en soit, un dépilage complet ou partiel s'exécute de la même manière. Quand on a enlevé tout ou partie du pilier, on retire les buttes qui soutiennent le faux toit, on laisse ébouler, et l'on passe à d'autres piliers plus rapprochés de la voie de roulage et du puits. On ne relève pas le faux toit en murailles après un dépilage complet, lorsqu'on n'a plus l'intention de rentrer dans la partie des travaux où le dépilage a été exécuté.

Les ouvriers qui travaillent au dépilage doivent abattre chacun 80 hectolitres de houille par jour, au lieu de 60 qu'ils fournissent dans les tailles ordinaires. Les prix payés pour les charbons gros et menus sont diminués en proportion. En général, on fait un dépilage complet dans les parties de la couche qui sont au dessous d'un sol sec et éloigné des vallées et cours d'eau superficiels. On se borne à un dépilage partiel dans les parties qui se trouvent au dessous des bâtiments ou clôtures, et du fond des vallées où coulent des ruisseaux.

La couche du Sagnat offre l'exemple d'un gîte intermédiaire entre ceux de la première et ceux de la deuxième catégorie que nous avons établies. Le *faux toit* fournit en effet des remblais qui suffisent en général pour prévenir de grands éboulements, grâce à l'extrême solidité du banc de grès qui recouvre immédiatement les schistes. Cependant, comme le remblai est loin d'être complet, qu'il n'est pas uniformément réparti dans les vides résultant de l'excavation, et que d'ailleurs on se procure ce remblai en provoquant de véritables éboulements, nous avons jugé que cette couche devait être rangée de préférence dans les gîtes de la deuxième catégorie. Il en est de même de l'une des couches exploitées dans la mine du Treuil, aux portes de la ville de Saint-Étienne.

Exploitation de la mine du Treuil. — Cette couche, de 1m,25 d'épaisseur, est peu inclinée; elle a un toit d'argile qui se détache facilement et sépare la houille de la roche solide. Ce faux toit est employé au remblai partiel comme à Roche-la-Molière. Dans la première période de l'exploitation, les tailles sont établies suivant la direction et suivant l'inclinaison; elles ont aussi 4 mètres de large, comme dans cette dernière localité. La distance moyenne des tailles horizontales est de 20 mètres; celle des tailles inclinées suivant la pente, de 25 mètres. Les massifs rectangulaires qui séparent ces tailles sont ensuite enlevés au dépilage, et les excavations sont soutenues par des remblais provenant du faux toit que l'on bâtit en piliers isolés et à peu près uniformément répartis dans l'espace qu'occupait auparavant le massif de houille. La voie de roulage, dans la mine du Treuil, est placée au niveau du puits au dessous de toutes les tailles; elle est parcourue par des chariots roulant sur un chemin de fer et traînée par des chevaux. On a entaillé le toit et le mur de la couche pour donner à cette voie la hauteur nécessaire.

Mine de houille de Gerhard, près Saarbrücken. — La mine de Gerhard, près Saarbrücken (Prusse rhénane), nous offre un exemple de l'exploitation de deux couches de houille parallèles, et d'une assez grande puissance, par piliers longs. Ces deux couches, dites couche

Henri et couche de Beust, ont, la première 1m,87, et la seconde 2m,81 de puissance. Leur inclinaison commune est au plus de 14°; elle est souvent moindre; elles sont exploitées au dessus du niveau d'une galerie d'écoulement.

Une partie de chaque couche située au dessus de la galerie d'écoulement est divisée d'abord par des tailles, ou plutôt des galeries d'allongement, en grands massifs longs qui ont 60 mètres de largeur mesurée perpendiculairement aux galeries de niveau, dans le plan de la couche. Les galeries d'allongement ont de 5 à 6 mètres de largeur. A partir de chacune de ces galeries on reperce le massif long supérieur par des galeries ou tailles dont l'axe est intermédiaire entre la direction et l'inclinaison, de façon à ce que leur pente vers la galerie inférieure soit de 3 à 3 1/2 degrés.

Ces galeries en diagonale sont commencées et poussées sur une largeur de 2 mètres environ, jusqu'à une distance de 4 à 5 mètres de la voie de niveau; puis elles sont élargies ainsi que l'indique la *fig.* 4, *Pl. XXI*, et leur largeur est portée à 5 ou 6 mètres, conformément à celle des galeries de niveau. Elles sont séparées par des piliers de houille P, P, P de 10 mètres de largeur. On les boise autant que cela est nécessaire pour leur solidité; on laisse au toit une épaisseur de houille d'environ 30 à 35 centimètres; parce que, la houille étant très-raide et le toit beaucoup moins solide qu'elle, on économise ainsi des frais considérables de boisage. Les chariots de roulage arrivent par les voies de niveau inférieures aux massifs, et par les tailles inclinées G, G, G, jusqu'auprès des ouvriers qui abattent la houille.

Ces travaux constituent la première partie de l'exploitation. Le dépilage, c'est-à-dire l'enlèvement des piliers P, se fait ensuite en commençant par le massif long le plus élevé au dessus de la galerie d'écoulement, et le plus rapproché des anciens travaux, et dans ce massif par les piliers les plus éloignés de l'orifice de la galerie. Chaque pilier isolé P est attaqué par son extrémité la plus élevée contiguë à la galerie de niveau supérieure. On enlève la houille sur une largeur de 5 à 6 mètres entre deux tailles voisines G. On laisse au toit de l'excavation une planche de houille de même épaisseur que celle que l'on a ménagée dans ces tailles; on soutient le toit par des poteaux de bois. Lorsque la houille est enlevée sur toute l'épaisseur du pilier, on procède à l'enlèvement des bois qui soutiennent le toit. Cette opération se fait rapidement et avec précaution. La planche de houille qui ne se trouve plus soutenue sur une superficie de 60 à 80 mètres carrés tombe, et avant que sa chute soit suivie de celle du toit, les

ouvriers enlèvent rapidement la houille en gros morceaux; le menu qui provient de la chute de cette assise supérieure est complétement perdu et reste enfoui au milieu des déblais. On continue ainsi l'exploitation du pilier attaqué, jusqu'à l'endroit où la taille rétrécie est réduite à une simple galerie de communication avec la voie de roulage inférieure. On laisse ainsi subsister au dessus de cette voie un cordon de houille assez épais percé seulement de 16 en 16 mètres environ par des galeries de petites dimensions. Ce cordon consolide la voie supérieure qui est nécessaire à l'aérage, pendant l'exploitation du massif long inférieur. Il a encore une autre utilité; c'est que, lorsque des incendies se manifestent dans les éboulements et les déblais qui remplissent les vieux travaux, il est possible d'isoler complétement ces incendies des travaux inférieurs actuellement en activité, en établissant des digues épaisses en argile ou en maçonnerie, qui ferment les galeries étroites allant aux vieux travaux. Du reste, il est convenable de fermer ces galeries, au fur et à mesure que le dépilage est terminé, afin de diminuer les communications des chantiers en activité avec les vieux travaux dépilés, éboulés et abandonnés.

La houille est très-dure dans la mine Gerhard, il faut l'abattre à la poudre. Un ouvrier aux tailles n'abat ordinairement que 11 hectolitres de houille par jour. Dans l'opération du dépilage, un ouvrier abat 12^{hectolitres},60. Dans la couche Henri, on consomme ordinairement 2 kilogr. de poudre environ pour obtenir 216 hectolitres de houille, dans des tailles de 6^{m},30 de largeur. Le piqueur est tenu de mettre en place les étais nécessaires pour soutenir le toit.

L'on peut attaquer à la fois plusieurs piliers dans une même rangée horizontale, et plusieurs rangées. Seulement il est nécessaire que l'exploitation du pilier le plus reculé de chaque rangée soit commencée avant celle du pilier qui est en avant, et que l'exploitation d'une rangée soit commencée avant que l'on attaque le pilier le plus reculé de la rangée inférieure. En un mot on procède par rangées de haut en bas, et, dans chaque rangée, on va des piliers les plus reculés à ceux qui sont les plus rapprochés de l'orifice des voies de roulage.

Dans le cas de couches parallèles superposées, l'exploitation doit commencer par les couches supérieures et procéder de haut en bas.

Exploitation de couches de houille très-inclinées. Le mode d'exploitation par massifs longs et dépilage s'applique facilement aux gîtes très-inclinés. Ceux-ci sont découpés en massifs par des galeries horizontales qui servent au roulage, et communiquent avec des ga-

leries ou puits inclinés, exécutés suivant la ligne de plus grande pente à des distances assez considérables les uns des autres. Les minerais de chaque massif arrivent à la voie principale de roulage établie à la partie inférieure du champ d'exploitation par ces puits ou galeries, dans lesquels on établit des plans inclinés automoteurs avec des freins modérateurs, lorsqu'on veut faire descendre les minerais dans les chariots de roulage. Quand on n'a point à redouter la casse des minerais, on se contente de les jeter dans les puits inclinés, qui se réduisent souvent à des cheminées étroites, fermées par le bas au moyen d'une trappe, que l'on ouvre pour les laisser tomber dans les chariots qui parcourent la voie de roulage. Ces cheminées sont d'ailleurs entretenues à peu près pleines de minerais, ce qui rend la casse moins considérable. Les mines de houille de Sultzbach, dans le bassin de Saarbrücken, plusieurs couches presque verticales exploitées sur les bords de la Ruhr dans le comté de La Mark, d'autres couches exploitées en Silésie, offrent de beaux exemples de ce mode d'exploitation.

En Silésie, les couches de houille très-inclinées ont généralement une faible puissance, de $0^m,50$ à $1^m,50$. Elles sont divisées en massifs longs par des galeries horizontales qui se rattachent à un puits ouvert suivant l'inclinaison de la couche, ou à des galeries à travers bancs qui mettent le gîte en communication avec des puits verticaux. Ces galeries sont solidement boisées, et garnies d'un plancher formé de madriers posés sur des traverses à peu près normales au plan du gîte; les eaux, s'il y en a, coulent sous ce plancher qui est recouvert de déblais, afin de niveler le sol de la galerie, dans le sens transversal. On voit, *fig.* 5, *Pl. XXI*, cette disposition. *a*, *a'* sont deux galeries, *m* le massif intermédiaire, *r* le conduit ménagé sous le plancher, lequel est aussi quelquefois utilisé pour l'aérage.

Les massifs ont jusqu'à 16 mètres de hauteur mesurée suivant l'inclinaison de la couche, lorsque le toit de la couche est solide et résistant. Dans le cas contraire, cette hauteur ne dépasse pas 8 à 10 mètres.

On commence l'exploitation par les couches supérieures. Les puits inclinés foncés dans la couche soit à partir du jour, soit en montant à partir d'une voie de roulage inférieure, sont à des intervalles assez considérables, et les galeries horizontales ne sont poussées à partir de chacun de ces puits que jusqu'à la moitié de la distance entre celui-ci et le puits voisin. L'enlèvement des massifs ou le dépilage se fait en commençant au milieu de l'intervalle de deux puits, en revenant vers ces puits respectifs et en commençant par les mas-

sifs supérieurs. Le massif étant repercé par une cheminée dans le milieu de sa longueur, on enlève la houille en soutenant le toit en arrière à l'aide d'étais en bois placés perpendiculairement au plan de la couche, avec interposition d'un bout de planche appliqué contre la roche du toit. On peut quelquefois enlever complétement le massif, jusqu'au plancher qui est au sol de la galerie supérieure. Mais il faut pour cela que le toit soit très-solide : dans le cas contraire, on laisse un cordon de houille d'une épaisseur variable, suivant la solidité du toit et la ténacité de la houille.

Les bois d'étais sont habituellement abandonnés presque en totalité, ce qui donne lieu à une consommation de bois considérable. Suivant M. Heintzmann, on dépenserait, pour obtenir 100 pieds cubes de houille :

Dans les anciennes mines de Hultschin. .	5 pieds cubes de bois.
A la mine Segengottes, près Altwasser. .	7 pieds cubes.
A la mine Gustave, près Gottesberg. . .	8 pieds cubes.

Les couches de houille très-inclinées de la mine de l'Aigle-Noir (Schwarz Adler), près d'Essen, sont exploitées suivant un système analogue. Elles ont presque toutes une faible puissance : l'une d'elles cependant a $2^m,60$ d'épaisseur ; elle est divisée en deux parties par un banc stérile de $0^m,60$; leur inclinaison est d'environ 70 à 80 degrés ; elles sont asséchées par une galerie d'écoulement qui sert en même temps de voie de roulage. Les puits inclinés suivant la pente des couches vont jusqu'au jour et servent à l'aérage. Les charbons exploités sont jetés dans les voies inférieures situées au niveau de la grande galerie de roulage, par des cheminées distantes entre elles de 100 à 120 mètres. On donne aux galeries qui séparent les massifs longs 3 mètres de hauteur mesurée suivant l'inclinaison des couches. Ces massifs ont eux-mêmes 10 mètres de hauteur. Lors de l'exploitation d'un massif, on laisse subsister un cordon de houille d'un mètre au sol de la galerie supérieure, pour soutenir les éboulements résultant des dépilages supérieurs. Dans la couche de $2^m,60$ dont nous avons parlé, on enlève d'abord, au dépilage, la partie de la couche située au dessous du banc stérile que l'on soutient par des étais placés perpendiculairement au plan du gîte. Quand on a ainsi excavé sur une surface de 60 à 80 mètres carrés, on enlève ces étais. Le banc stérile tombe, et est suivi de la houille qui le recouvre. On enlève rapidement la grosse houille provenant de cet éboulement, autant que cela peut se faire sans danger. La houille menue est abandonnée dans les déblais.

Les ouvriers reçoivent 24 silbergros, 2 fr. 97 c., pour l'abattage de 100 scheffels (à peu près 60 hectolitres), dans les chantiers ou galeries préparatoires. Au dépilage ils reçoivent seulement 20 silbergros (2 fr. 49 c.) pour 100 scheffels.

Exploitation dans la Haute-Silésie. — L'exploitation par piliers longs est appliquée avec avantage en Silésie à des couches de houille d'une grande puissance. L'importance du sujet nous détermine à insérer ici un extrait étendu des mémoires qui ont été publiés sur cette matière, dans les archives de Karsten, par M. Heinzmann, bergmeister à Tarnowitz.

Les couches de houille de la haute Silésie sont en général régulières et peu inclinées sur le plan horizontal. Leur puissance varie de 3 mètres à 6 mètres environ. Il est très-rare que l'inclinaison dépasse 10 degrés; elle n'est souvent que de 5 à 6 degrés.

Ces couches puissantes sont composées de houille pure; elles sont cependant divisées en bancs distincts par plusieurs lits d'argile parallèles au plan de la couche dont l'épaisseur ne dépasse pas ordinairement 2 ou 3 centimètres. On profite de ces lits d'argile pour le *havage*.

Quelquefois un de ces lits argileux a une épaisseur plus considérable. Ainsi la couche *Einsiedel* de la mine *Louise* est partagée par un semblable lit de 1 mètre d'épaisseur. En pareil cas, la règle suivante est généralement admise: l'exploitation doit commencer par le banc supérieur; le banc inférieur est exploité lorsque les éboulements qui ont suivi le dépilage du banc supérieur sont arrivés à leur terme et sont déjà tassés. Cette règle est suivie, même dans le cas où l'épaisseur du lit d'argile ne dépasse pas 50 à 75 centimètres, ainsi que cela a lieu dans la mine dite Fuchsgrube, près Waldenburg, dans la basse Silésie, où l'on exploite le banc inférieur, plusieurs années après que l'exploitation dans la partie correspondante du banc supérieur a été terminée.

Le toit et le mur des couches sont généralement de l'argile schisteuse (*schieferthon*), quelquefois du grès houiller; dans quelques cas, et près de la surface, le toit est un sable désagrégé. Telles sont la couche Reden de la mine Louise et la couche Léopoldine à Brzenskowitz.

Les plans de division naturels de la houille, dans les couches de la haute Silésie, sont, sans exception, parallèles à la direction de la couche. Il en résulte que les tailles doivent être prises en montant, afin d'être perpendiculaires aux plans de division naturels. Les couches sont sujettes à des rejets assez considérables. Dans la mine dite

Königsgrube, elles sont rejetées dans le sens vertical de 16, 24 et jusqu'à 40 mètres.

Travaux destinés à atteindre les couches (*ausrichtung der flötze*). — Le principe général et unique duquel on part pour l'établissement des premiers travaux est que la couche doit être atteinte par les puits, ou les galeries exécutées soit dans la couche, soit à travers bancs et devant servir à l'extraction de la houille, à la partie inférieure du champ d'exploitation. Si elle est atteinte par des puits, on fixe l'emplacement des puits d'épuisement, de façon que leur fond arrive dans le toit de la couche à une distance de 3 à 5 mètres de la voie de fond qui sera exécutée de niveau, dans la couche même, à la partie inférieure du champ d'exploitation. Les puits d'extraction sont placés verticalement au dessus de la voie de fond, afin que les chariots arrivent directement et avec facilité jusque sous le puits.

Quand la couche est exploitée par galeries, on l'atteint habituellement par des galeries à travers bancs. Ces galeries, quand elles arrivent à la couche par son toit, sont poussées d'abord à travers l'épaisseur de celle-ci jusqu'au mur, parce que c'est sur le mur que doivent s'appuyer les galeries et travaux préparatoires exécutés dans la couche, dont il va être question.

Préparation du champ d'exploitation (*vorrichtung des kohlenfeldes*). — La préparation du champ d'exploitation consiste dans l'exécution d'une galerie horizontale dite voie de fond (*Grundstrecke*), d'une galerie horizontale à un niveau plus élevé devant servir au roulage, dite voie moyenne (*Mittelstrecke*) ; de galeries horizontales équidistantes qui divisent le champ d'exploitation en massifs, *dites galeries d'exploitation* (*Abbaustrecken*) ; d'autres galeries qui recoupent les piliers existants entre ces dernières et qui sont dirigées, tantôt suivant la ligne d'inclinaison, tantôt suivant une ligne oblique à l'inclinaison et à la direction à la fois. Dans ce dernier cas, on les nomme *diagonales*.

La voie de fond limite inférieurement le champ d'exploitation. Elle part du puits d'épuisement, ou plutôt du bout de galerie qui met celui-ci en communication avec la couche. La voie moyenne est celle qui doit servir au roulage et qui aboutit au puits d'extraction, lequel rejoint la couche à un niveau plus élevé que le puits d'épuisement.

Les galeries d'exploitation sont celles qui aboutissent à une galerie suivant la pente, ou à une diagonale.

Toutes ces galeries, dans lesquelles il faudra établir des voies de

roulage, doivent être poussées, autant que possible, suivant des lignes droites horizontales, ou légèrement inclinées dans le sens des transports. Généralement, dans les couches d'une faible inclinaison, elles sont assises sur le mur, et suivent la ligne résultant de son intersection par un plan horizontal. Cependant quand cette ligne est anguleuse ou ondulée suivant des courbes d'un faible rayon, on s'en écarte, pour conserver la direction rectiligne. On entaille quelquefois le mur, ou bien on se rapproche du toit, pour rejoindre le mur un peu plus loin. Dans ce dernier cas, il est prudent d'enlever la houille jusqu'au mur, et de niveler ensuite le sol de la galerie par des remblais en roches, ou même en menue houille. Quand on connaît d'avance la direction de la couche, on peut marcher dans cette direction sans suivre les accidents, qui en interrompent la régularité. Mais quand elle n'est pas connue d'avance, on risquerait de s'égarer en procédant ainsi, lorsque la puissance de la couche est considérable.

C'est surtout dans l'exécution de la voie de fond et de la voie moyenne que l'on doit s'attacher à conserver une direction rectiligne. Si la couche était très-ondulée, il conviendrait de pousser d'abord à partir d'une diagonale ou d'une galerie suivant l'inclinaison, une galerie d'exploitation qui guiderait pour le creusement des deux voies principales.

On donne de grandes dimensions aux galeries, tant pour faciliter le roulage, que pour en extraire la houille en plus gros blocs, et à meilleur marché. Ce sont de véritables tailles d'exploitation. Dans la haute Silésie, elles ont habituellement 5 mètres de large; quant à la hauteur, elle dépend de la puissance de la couche et de la nature du toit. Le plus souvent, le toit est tel qu'il convient de laisser au dessous une planche de houille, qui est reprise lors du dépilage. Ainsi, par exemple, dans la couche Gerhard de la mine Königsgrube, on laisse au toit une épaisseur de houille de $1^m,50$, et dans la couche Léopold, une épaisseur de 1 mètre. Généralement la hauteur des galeries est de 3 mètres, souvent de $3^m,50$, 4 et jusqu'à $4^m,50$. Dans les mines de la basse Silésie, on ne donne aux galeries que la largeur rigoureusement nécessaire pour le roulage. Les motifs que l'on a pour agir ainsi, sont le besoin d'économiser les bois d'étai, qui sont plus chers dans cette localité que dans la haute Silésie. L'exploitation est d'ailleurs plus solide; mais il faut payer une prime aux ouvriers qui creusent ces galeries, ce qui n'a presque jamais lieu dans la haute Silésie. Néanmoins la voie de fond, qui doit exister et servir de voie de roulage pendant plus longtemps que les autres, est quelque-

fois creusée, même dans ce dernier district, sous des dimensions moindres, et on ne lui donne que 3 mètres de large. Plus souvent on l'exécute sur la même largeur que les autres, et on remplit avec des roches la partie contiguë au massif inférieur. Ce remblai est élevé jusqu'au toit, et le vide restant ne conserve que les dimensions nécessaires pour le roulage. A côté du remblai, on creuse la rigole pour l'écoulement des eaux.

Lorsque des resserrements ou des failles interrompent la couche, ou que la houille devient plus tendre, on rétrécit les galeries et on ne leur donne que 2 mètres de large sur 2 mètres de haut. C'est toujours dans ce cas la paroi inférieure que l'on fait remonter.

Vers le point où les galeries s'embranchent sur d'autres, comme les diagonales ou les galeries inclinées sur les voies de fond et moyenne, ou les galeries d'exploitation sur les diagonales, ces galeries sont rétrécies. On ne leur donne d'abord que 2 mètres de large jusqu'à une distance de 6 à 8 mètres de leur origine ; puis on les élargit du côté de l'aval pendage, en maintenant toujours en ligne droite la paroi d'amont, contre laquelle est appliquée la voie de roulage, tandis que les eaux coulent le long du pilier inférieur.

Un autre avantage des galeries larges est la facilité avec laquelle l'air y circule. On a pu creuser de semblables galeries jusqu'à 200 lachter (plus de 400 mètres de distance), sans que l'air y devînt mauvais. D'ailleurs, dans la haute Silésie, il y a peu de bois perdu, parce que les étais sont retirés au dépilage.

Bien que les galeries dont nous venons de parler portent le nom de galeries de niveau, elles ont cependant une légère pente vers le puits pour faciliter le roulage. La pente que l'on donne est de :

2 degrés, quand le roulage a lieu sur des chemins de bois ;

3/4 de degré, sur des ornières creuses en fonte ;

1/2 degré, sur des rails saillants.

La communication entre les galeries d'exploitation supérieures et les voies principales (voie de fond et voie moyenne), est établie par des galeries dont l'axe est suivant la ligne d'inclinaison, ou suivant une diagonale. L'inclinaison de ces voies vers les voies principales varie, selon que le roulage doit être exécuté comme sur les voies de niveau, ou que l'on veut y établir des plans inclinés automoteurs, sur lesquels les wagons pleins remontent les wagons vides.

Une pente de 3 degrés 1/2 est nécessaire, pour que les chariots descendent seuls, par l'effet de la gravité, sur des rails en bois : il suffit d'une pente de 1 degré 1/2, sur des ornières creuses en fonte, et, d'une pente de 1 degré 1/8, sur des rails saillants en fer forgé ou en

fonte. Cependant l'inclinaison des couches ne permet pas de donner aux diagonales des pentes aussi faibles, et on leur donne généralement de 4 à 6 degrés.

On conçoit que l'établissement des diagonales comme voies de roulage, cessera d'être avantageux, si l'inclinaison de la couche est un peu forte. Il vaudra mieux alors établir des plans inclinés dans des galeries dirigées suivant la ligne de plus grande pente. Lorsque l'inclinaison ne dépasse pas 8 degrés, les diagonales sont préférées. Mais pour des inclinaisons plus fortes, on établit des plans inclinés automoteurs. Dans la mine Königsgrube, dont l'inclinaison n'est que de 10 degrés, on a substitué avec avantage aux diagonales les plans inclinés. C'est un inconvénient très-grave des diagonales, dans les couches épaisses surtout, de couper sous un angle aigu les galeries d'exploitation et de roulage. La houille ne peut être enlevée, dans les angles, que difficilement et avec danger pour les ouvriers.

Les galeries destinées à recevoir des plans inclinés, ont généralement 4 mètres de large et une longueur qui peut aller à 120 et même 200 mètres. Elles sont assises sur le sol de la couche. Une direction rectiligne, une pente sensiblement uniforme et un sol solide sont des conditions indispensables. La hauteur dépend de la puissance de la couche : mais il convient, dans tous les cas, de ménager au toit une forte épaisseur de houille.

On admet que les plans inclinés automoteurs doivent avoir :

15 degrés au moins de pente, quand les voies sont en bois;

10 degrés, avec des ornières creuses;

8 degrés, avec des ornières saillantes.

On emploie des chaînes en fer pour lier les chariots montants aux chariots descendants. Le mètre courant de ces chaînes pèse environ $1^k,50$. Dans la basse Silésie, on emploie, au lieu de chaînes, des cordes dont l'entretien est beaucoup plus coûteux.

Les galeries d'exploitation parallèles entre elles et aux deux voies principales, sont en général équidistantes. Le pilier qui sépare deux galeries semblables, a 6 mètres d'épaisseur, dans la haute Silésie. Souvent aussi on renforce de 4 ou de 6 mètres le pilier supérieur à la voie de fond. Si les piliers avaient des épaisseurs trop grandes, le dépilage pourrait offrir des difficultés, dans les couches puissantes. Dans la basse Silésie, on donne 16 mètres d'épaisseur aux piliers qui séparent les galeries d'exploitation.

Exécution des galeries et tailles. — On procède de la même manière au creusement des galeries de niveau, des diagonales et des galeries suivant la pente.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, on ne donne d'abord que 2 mètres de large aux galeries, sur une longueur de 6 mètres, puis on les élargit jusqu'à 5 mètres, et à partir de ce point elles deviennent de véritables chantiers d'exploitation.

Pour avancer le creusement, on commence par *haver*. L'entaille horizontale faite au pic a de 1 mètre à 1m,25 de profondeur, et 0m,50 de hauteur. Elle est faite quelquefois au mur de la couche (couche Heinzmann, dans la mine Königsgrube); à 3 mètres au dessus du sol (couche Gerhard, même mine); plus près encore du toit dans les couches de la Reine-Louise. Le plus souvent on have à une certaine hauteur au dessus du sol, dans un lit d'argile. Cette première entaille divise ainsi la couche en deux bancs, l'un supérieur, l'autre inférieur. Le banc supérieur est abattu le premier. Pour cela, on coupe le long des deux parois sur une profondeur égale à celle de l'entaille horizontale, et une largeur de 0m,15 à 0m,20, puis on abat la masse de houille, qui a ordinairement 0m,75 de hauteur, en enfonçant des coins de 30 à 40 centimètres de long, près du faîte de la galerie. On recommence de nouveau à couper horizontalement (haver), et on abat le banc supérieur, jusqu'à ce que l'on ait formé une banquette avancée de 3 à 4 mètres, dont la hauteur est égale à la distance de l'entaille de havage au mur de la couche, ordinairement 2 à 3 mètres. Pendant ce temps on soutient le faîte avec des étais verticaux provisoires.

En même temps que l'on travaille à enlever le banc supérieur, on exploite le banc inférieur. On coupe le long des deux parois de la galerie, et on détache la masse, en enfonçant verticalement des coins à une distance du front, égale à la profondeur des entailles latérales. Quelquefois on emploie la poudre. Le trou creusé à cet effet est ordinairement placé à 1m,50 en arrière du front de la taille. On lui donne de 1 mètre à 1m,10 environ de profondeur, avec une légère inclinaison en avant sur la verticale. On le charge avec une cartouche de 8 à 11 centimètres de longueur; cela suffit pour ébranler tout le massif de houille compris entre les deux parois de la galerie, le front du banc et le trou de fleuret. Il serait peu convenable de mettre une charge plus forte, parce qu'il ne faut pas que la houille éclate et que les fragments soient projetés au loin, mais seulement que le massif soit fendillé et ébranlé. On détache ensuite les fragments au pic.

La galerie présente ainsi en front, un gradin droit. Des ouvriers placés sur ce gradin entaillent le banc supérieur, tandis que d'autres ouvriers attaquent le banc inférieur.

Quand on have au sol, on pousse quelquefois l'entaille jusqu'à 4

ou 6 mètres au dessous du massif de houille, qui n'est soutenu que par l'adhérence aux parois, et par de petits étais verticaux provisoires. On enlève ensuite ces étais, et le banc de houille se détache souvent de lui-même. D'autres fois on est obligé de couper sur les côtés, et l'on détache par lits successifs de bas en haut, à l'aide de coins enfoncés horizontalement. Quelquefois même on emploie la poudre. Le trou de fleuret de 1m,50 de profondeur est horizontal, foré à 1m,50 au dessus de l'entaille, et chargé avec une cartouche de 8 à 11 centimètres de longueur. Au surplus, on ne have guère au sol, que dans des couches qui n'ont pas plus de 4 mètres de puissance. L'expérience prouve qu'un ouvrier abat autant de houille dans sa journée, dans une couche de 4 mètres de puissance, que dans une couche de 6 mètres.

A mesure que l'excavation avance, on pratique dans le sol, contre la paroi inférieure, une rigole profonde de 0m,25 à 0m,50, que l'on recouvre de planches, et qui sert à l'aérage et quelquefois à l'écoulement des eaux. Dans ce dernier cas la construction doit être encore plus soignée, et un corroi d'argile est appliqué contre la paroi latérale inférieure.

Boisage. – Le boisage est très-simple. Les parois latérales étant solides, on place au faîte à 1 mètre environ de distance les unes des autres, des pièces de bois qui ont une longueur égale à la largeur de la galerie, plus 50 centimètres; ces pièces reposent par leurs extrémités, dans des entailles pratiquées dans les parois latérales, où elles sont engagées sur une longueur de 25 centimètres de chaque côté. Au milieu de la galerie, on établit une file d'étais verticaux. Chacun de ces étais est posé dans une entaille de 8 à 10 centimètres de profondeur, faite au sol, et vient soutenir la pièce appliquée contre le faîte au milieu de la distance des appuis. Les étais doivent être placés bien verticalement, et le gros bout en bas. Ils sont coupés cylindriquement à leur extrémité supérieure, de manière à ce que le rond du chapeau se loge dans la cavité cylindrique. Les pièces horizontales doivent toucher le faîte sur toute leur longueur, sans laisser de vide. Les bois employés sont du pin ou du sapin. Les chapeaux ont de 10 à 15 centimètres de diamètre; les étais verticaux, de 21 à 25 centimètres. Ces bois sont coupés au printemps, écorcés et séchés à l'air, avant d'être employés dans la mine. On regarde les bois secs comme résistant mieux à la pourriture et à la carie sèche (*Faulniss und Stockung*). Quand on ne laisse pas de houille ou toit, il est nécessaire d'appliquer contre le faîte, entre celui-ci et les chapeaux, des bois de garnissage, afin de soutenir les schistes. Quel-

quefois la nature du faite exige que l'on rapproche davantage les chapeaux, et que l'on mette plus d'un étai vertical sous chacun d'eux. On agit suivant les circonstances.

Dépilage ou exploitation proprement dite (Pfeiler Abbau). — Les principes généraux d'après lesquels on procède à l'exploitation des piliers, sont les suivants :

1° Dans le cas où l'on a plusieurs couches parallèles, elles sont exploitées successivement, en commençant par la plus voisine du jour, et descendant de proche en proche aux couches plus profondes. Cela est nécessaire, afin d'éviter l'ébranlement des couches avant leur exploitation.

2° Les diagonales ou voies suivant l'inclinaison ne sont distantes que de 240 mètres au plus l'une de l'autre.

3° Le dépilage commence par le pilier le plus rapproché des affleurements et le plus éloigné du puits.

4° Les galeries d'exploitation ne sont pas toutes également avancées. On pousse en avant les galeries supérieures, celles qui sont près des affleurements, ou des anciens travaux. Les voies de fond et moyenne demeurent en arrière. On agit ainsi afin d'éviter la détérioration de la houille par le contact de l'air, et l'entretien coûteux qu'exigeraient des galeries ouvertes pendant trop longtemps.

5° Chaque pilier est exploité en revenant de l'extrémité la plus éloignée de la voie de transport, vers cette voie de transport.

6° Quand on exploite à la fois plusieurs piliers situés au dessous les uns des autres, l'exploitation du pilier supérieur est toujours de 20, 40 ou 60 mètres en avant de celle du deuxième pilier, celle du deuxième pilier en avant de celle du troisième, de la même quantité, etc., de sorte que l'éboulement du toit a eu lieu dans l'espace qu'occupait l'extrémité du pilier (1), quand on attaque le pilier (2), et dans l'espace qu'occupait l'extrémité du pilier (2), quand on attaque le pilier (3), etc.

7° Quand les éboulements intérieurs déterminent des affaissements ou *fontis* à la surface du sol, on comble, autant que possible, les excavations formées, afin d'éviter l'entrée des eaux de pluie dans la mine.

8° On évite, autant que possible, la circulation de l'air dans les vieux travaux, afin de prévenir l'inflammation spontanée de la houille et des schistes combustibles restés dans les éboulements.

Dépilage. — La galerie supérieure d'exploitation étant parvenue à la limite du champ d'exploitation (ce sont ordinairement de vieux travaux, ou un accident de la couche, une faille, un crain ou res-

serrement qui forment cette limite), on commence le dépilage en poussant sur le bout du pilier supérieur une taille montante suivant l'inclinaison. On donne à cette taille de 5 à 6 mètres de large, et l'on y place deux ou trois ouvriers au plus. On have, comme dans les galeries d'exploitation, soit au sol, soit au milieu de la couche, selon qu'elle a moins ou plus de 4 mètres de puissance, ou suivant d'autres circonstances locales. Le front de la taille est généralement parallèle à la direction de la couche. Quelquefois cependant il est oblique, quand les fissures naturelles de la houille l'exigent, pour la facilité de l'abattage. On laisse une planche de houille au toit, ou bien on n'en laisse point, suivant la nature plus ou moins solide du toit et la puissance de la couche.

Dans tous les cas, l'on have d'abord sur une profondeur de 0m,75 à 1 mètre; on élargit cette première entaille sur une hauteur de 50 centimètres avec des coins, et on prolonge le havage, avec des pics plus légers et à manches plus longs, de 0m,50, — 0m,75 ou 1 mètre. Ensuite on abat le banc supérieur de houille, en soutenant le toit par des étais provisoires. Le banc inférieur est enlevé, lorsque l'entaille est avancée de 3 à 4 mètres dans le banc supérieur. Pendant l'opération du havage, on soutient la houille qui se trouve déjà coupée sur un côté, au moyen d'étais courts verticaux, ou de petits piliers ménagés dans la masse.

Boisage des excavations, dans le dépilage. — Avant de commencer la taille montante, on doit soutenir les extrémités des chapeaux qui sont au faîte de la galerie, par une file d'étais verticaux, placés contre la paroi supérieure, devant le front de la taille. A mesure que celle-ci avance, on soutient le toit par des poteaux verticaux, qui ne sont pas placés dans un ordre déterminé, mais irrégulièrement, suivant que l'exige la nature de la roche; toutefois on applique toujours une rangée d'étais contre la face du massif de houille contiguë à l'espace excavé. Cette ligne d'étais est appelée *orgue*. Elle est continuée plus tard, ainsi que nous le verrons, en travers de la galerie inférieure au pilier attaqué, et ici les étais verticaux sont arc-boutés par des pièces de bois inclinées qui aboutissent au milieu de leur hauteur, et dont le pied s'appuie sur le sol de la galerie. Cette rangée de poteaux forme une barrière à travers laquelle les ouvriers peuvent passer, mais qui empêche la houille et les déblais d'encombrer la galerie, en même temps que les ouvriers se mettent à l'abri des éboulements derrière elle.

Dans plusieurs couches, au lieu de poser les étais qui forment l'orgue, sous la planche de houille que l'on laisse au faîte, on pra-

tique une entaille allant jusqu'au toit de schiste, pour recevoir leurs extrémités supérieures, qui sont ainsi en contact avec le véritable toit de la couche. On agit ainsi dans le cas où la houille du toit est très-roide. (Couche Léopoldine à Brzenskowitz.)

Les étais de la taille ne sont point placés dans des entailles pratiquées au sol, comme ceux des galeries, et cela afin qu'on puisse les enlever plus aisément.

On ne place point de chapeaux au dessus d'eux, mais de simples planches de bois de 0m,16 de largeur et de 0m,25 à 0m,50 de longueur (*anpfähle*), qui soutiennent le toit sur une petite étendue, et facilitent le serrage qui maintient les étais verticaux en place. Enfin, on place quelquefois au dessus de ces planches des bois de garnissage.

La taille achevée, on a une excavation qui, y compris la galerie inférieure, a de 56 à 66 mètres carrés de base, et dont le toit n'est soutenu que par les poteaux verticaux.

Enlèvement des bois d'étais et de la houille restée au toit. Éboulement du toit (das rauben). — On commence par enlever ces bois. On déplace d'abord entièrement la rangée d'étais appelée orgue qui a été mise contre la face du massif contiguë à la taille précédente, et on les reporte dans la galerie d'exploitation, sur le prolongement de la file contiguë à la face latérale du massif que l'on va enlever. On ôte ensuite les autres étais successivement, en commençant par les plus éloignés, et de façon à former des espaces dépourvus d'étais ayant une étendue de 4 ou 5 mètres carrés. La houille du faîte tombe alors, on la ramasse et on continue l'enlèvement des bois. Deux ouvriers travaillent à la fois. L'un saisit l'extrémité supérieure d'un poteau, avec un crochet en fer fixé à l'extrémité d'une perche en bois, tandis que l'autre fait glisser ce poteau sur le sol, en frappant sur sa base, ou excavant au dessous. Quand on a enlevé tous les étais, excepté ceux qui forment l'orgue contiguë à la houille massive, l'éboulement a eu lieu dans toute l'étendue de la partie du pilier exploité, et de la galerie inférieure correspondante.

Il va sans dire qu'une partie des bois est perdue, ainsi qu'une partie de la houille restée au faîte. Toutefois la perte est peu considérable, quand la couche est solide et que les ouvriers sont exercés.

Cette méthode ne peut être appliquée, comme nous l'avons dit en commençant, qu'à des couches dont l'inclinaison ne dépasse pas 20 degrés. La *fig.* 6, *Pl. XXI*, représente la position des bois au moment où l'on vient de reporter, dans la galerie inférieure, sur le prolongement de l'orgue, les étais qui avaient été appliqués contre le massif de houille, dans la taille précédente.

Application de la même méthode aux couches de la basse Silésie. — La méthode que nous venons de décrire est aussi mise en pratique dans la basse Silésie. Il ne sera pas inutile d'ajouter quelques détails relatifs à l'exploitation de la mine principale de ce pays, celle de Fuchsgrube, près de Waldenburg. On y compte 19 couches de houille, dont 14 sont exploitables. Leur direction est de l'est à l'ouest sur 8h 1/2 de la boussole, et leur pente du nord au midi sous un angle de 18 à 20°. Leur puissance est à peu près uniforme dans toute leur étendue. Les couches, en les prenant par ordre du mur au toit, ont les épaisseurs suivantes :

1. Épaisseur 40 pouces ; houille presque pure, mais ne fournissant que peu de gros morceaux.

2. 90 pouces ; séparée en deux par un lit de schiste de 30 à 40 pouces d'épaisseur, que l'on exploite avec le banc supérieur. Elle fournit 40 pour 100 de gros.

3. 18 pouces de hauteur ; inexploitable à cause des schistes mêlés à la houille.

4. de 80 à 100 pouces ; contenant quelquefois un lit stérile de 20 à 30 pouces. 40 pour 100 de gros.

5. 40 pouces, avec un milieu stérile de 10 pouces. 30 pour 100 de gros.

6. Inexploitable. 7. Puissante de 120 pouces ; houille peu mêlée de schistes et pierres, mais contenant en assez grande quantité de la pyrite de fer. Fournit 34 à 40 pour 100 de gros.

8. 120 pouces ; n'est séparée de la précédente que par un filet de schiste de 2 à 3 pouces d'épaisseur, de telle sorte que l'on pourrait regarder les couches 7 et 8 comme n'en formant qu'une seule de 240 pouces (20 pieds) de puissance. Elles sont cependant exploitées séparément comme deux couches isolées. La couche 8 est la meilleure et fournit 60 pour 100 de gros.

9. Inexploitable. 10. A 85 lachter de distance horizontale dans le toit de la couche 8. 90 pouces de puissance. Fournit 60 pour 100 de gros.

11. 110 pouces de puissance. Séparée de la couche 10 par un filet de roche stérile qui n'a que 5 à 10 pouces d'épaisseur. Contenant beaucoup de pyrite de fer. Fournissant de 50 à 55 pour 100 de gros.

12. 40 à 45 pouces de puissance ; à 3 ou 4 lachter de distance horizontale dans le toit de la couche 11.

13, 15, 16, 18, 19. Leur puissance varie de 50 à 80 pouces; elles fournissent de 40 à 60 pour 100 de gros.

La couche 14 est inexploitable.

Cette riche mine est exploitée au moyen d'une galerie d'écoulement et de navigation, à laquelle on a donné 2m,56 de hauteur sur 1m,70 de large. La galerie, commencée près de la route de Waldenburg à Freiburg, atteint le mur de la première couche à une distance de 416 mètres de son embouchure. De là, elle est continuée dans une direction à peu près perpendiculaire à celle des couches, pour recouper celles du toit. Elle a été poussée ainsi jusqu'à la 19e couche. En même temps, on exécuta un embranchement dans la 8e couche, pour attaquer sur plusieurs points à la fois les couches 7 et 8, et l'on rejoignit les couches du mur, 5, 4 et 2, par plusieurs galeries à travers bancs partant de divers points de la galerie navigable établie dans la couche 8.

La galerie navigable, laissait dans les couches 7 et 8, entre elle et les vieux travaux, un massif de houille intact, d'une hauteur variable entre 20 à 65 lachter, mesurée suivant la pente. Les galeries à travers bancs poussées vers les couches du mur 5, 4 et 2, laissaient au dessus d'elles un massif de houille intact moins haut, les anciens travaux s'étant étendus à une plus grande profondeur dans les couches du mur que dans les autres.

Chaque champ d'exploitation aboutissant soit à un puits venant du jour, soit à une galerie à travers bancs rattachée à la galerie de navigation, s'étend au moins à 100 lachter (209 mètres) de chaque côté du puits, c'est-à-dire que les galeries d'exploitation (*Abbau strecken*), poussées suivant la direction, s'étendent à 209 mètres de chaque côté de la galerie ou puits d'extraction. Dès qu'une couche est atteinte, si le massif de houille intact, situé au dessus du point où elle a été recoupée, a une hauteur suffisante pour former plus d'un massif long, on exécute une galerie ascendante destinée à recevoir un plan incliné automoteur (*Bremschacht*). A partir de celui-ci, on pousse, suivant la direction, les galeries d'exploitation, en commençant par celles du haut, et faisant suivre celles du bas, à mesure que l'exige l'avancement de l'exploitation des piliers supérieurs. En général, on exécute à la fois deux galeries d'exploitation parallèles, de chaque côté de la galerie inclinée, afin de les aérer l'une par l'autre, au moyen de communications établies de distance en distance à travers le pilier qui les sépare. On leur donne de petites dimensions, surtout dans les couches puissantes; cela est nécessaire à cause de la nature ébouleuse du toit, par suite de laquelle une galerie large n'offrirait pas aux ouvriers, pendant le dépilage, un refuge assuré.

Dans les couches minces, au contraire, on donne à ces galeries la même largeur que dans les mines de la Haute-Silésie.

On conçoit combien le toit doit être ébouleux dans les couches 7, 10 et 11, puisque la première n'est séparée de la couche 8 que par un filet de roche de 2 à 3 pouces, que les couches 10 et 11 sont aussi presque en contact, et que cette dernière est à une petite distance au dessous de la couche 12. Aussi est-il nécessaire de boiser avec le plus grand soin, tant dans le creusement des galeries préparatoires qu'au dépilage. Les étais verticaux, surmontés d'une simple planche transversale, ne suffisent plus. Il faut placer des cadres et un chapeau, et même joindre les chapeaux par des bois de garnissage. On doit employer cette précaution, même dans les couches qui ont un toit de grès, parce que le grès est très-fissuré.

Le dépilage a lieu dans toutes les couches de la mine Fuchsgrube par tailles montantes suivant l'inclinaison, attendu que les fissures naturelles de la houille sont parallèles à la direction de la couche. La méthode usitée est celle que nous avons décrite avec détail pour les mines de la Haute-Silésie. Seulement on boise avec plus de soin. La hauteur des piliers qui séparent les galeries d'exploitation est réglée par la nature du toit. Quand celui-ci est du grès, du poudingue ou du schiste argileux solide, on leur donne de 17 à 21 mètres de hauteur. Au dépilage, les tailles montantes ont une largeur qui dépend de la hauteur des piliers. Plus ceux-ci sont hauts, moins on donne de largeur aux tailles.

Il est remarquable que les fissures naturelles de la houille, qui sont parallèles à la direction dans la mine de Fuchsgrube, sont au contraire parallèles à l'inclinaison dans les mines voisines de Hermsdorf, de sorte que, dans celles-ci, les tailles, au dépilage, sont poussées suivant la direction. Cette méthode est moins avantageuse que la première, en ce qu'elle exige que l'on maintienne un espace libre entre les éboulements qui sont en arrière, et le front de la taille, ce qui fait que l'on ne peut guère sauver d'étais. Presque tous sont abandonnés dans les vieux travaux, où ils doivent rester, pour soutenir le faîte derrière les ouvriers. Au contraire, quand on dépile par tailles montantes, on provoque des éboulements, en retirant tous les bois, immédiatement après que le massif de houille est enlevé. Quand l'éboulement a eu lieu, le massif contigu n'a plus aucune charge à supporter de la part des vieux travaux voisins. Il ne supporte que ce qui est directement au dessus de lui. Une exploitation très-rapide et un éboulement immédiat du toit, après l'exploitation,

sont les conditions les plus essentielles à remplir, lorsque le toit est ébouleux.

On peut exploiter par cette méthode presque immédiatement au dessous d'éboulements supérieurs, pourvu que ceux-ci soient déjà tassés par le temps, ce qui leur donne un certain degré de solidité. C'est ainsi que l'on exploite la couche 8 après avoir exploité la couche 7.

Dans les mines de la Haute-Silésie, un mètre cube de houille mesuré sur place fournit moyennement 1 mètre cube 1/2 de houille exploitée, tant grosse que menue, de sorte que le foisonnement est de moitié du volume cubé sur place. Chaque *lachter* carré superficiel de la couche Gerhard de la mine de Königsgrube, qui a 220 pouces de Silésie de puissance, fournit moyennement 310 scheffels de houille de toute qualité. Le lachter ayant 80 pouces, et le scheffel étant de 6,460 pouces cubes de Silésie, on voit que 1,408,090 pouces cubes mesurés sur place, dans la couche, fournissent 2,002,600 pouces cubes de houille de toute qualité, ce qui diffère peu de la proportion moyenne donnée ci-dessus.

Consommation de bois dans les mines de houille de la Silésie. — La quantité de bois consommée en étais, pendant l'année 1818, pour toutes les mines de la Haute-Silésie, a été de 1,78 pieds cubes pour 100 pieds cubes de houille.

Dans le district de Waldenburg de la Basse-Silésie, le rapport en volume des bois d'étai à la houille obtenue a été celui de 5,4 à 100.

Dans le district de Glatz, ce rapport a été de 3,2 à 100.

Travail journalier des ouvriers piqueurs. Poudre consommée. — Dans la couche Gerhard de la mine de Königsgrube, chaque ouvrier *piqueur* fournit dans la journée 24 hectol.,20, dans les galeries. Au dépilage, chaque ouvrier ne fournit plus que 22 hectol.,7, parce que le temps pris par le boisage des excavations est considérable. On consomme, en outre, de 3 à 4 hectogrammes de poudre pour 216 hectolitres de houille obtenus dans les galeries, et de 2 hectogrammes à 2 hectogr.,50 pour la même quantité de houille obtenue au dépilage.

Exploitation de la houille à Blanzy. — M. Harmet a appliqué avec succès à la mine de houille de Lucy (concession de Blanzy, Saône-et-Loire) le procédé d'exploitation de la Silésie. La couche exploitée a une puissance totale de 10 à 12 mètres; son inclinaison varie de 10 à 40 degrés; elle est divisée en trois bancs par deux nerfs ou lits de schistes de 0m,30 de puissance environ, *fig.* 4 (*a*), *Pl. XXI.* Le banc

contigu au toit a une épaisseur de 4 mètres à 4m,50, puis vient le nerf supérieur; une assise de houille de 1 mètre d'épaisseur, le second nerf stérile, et enfin le banc de houille contigu au mur, dont l'épaisseur est de 6 à 7 mètres. Le toit de la couche est une roche très-solide.

On exploite d'abord le banc de houille supérieur; les premières galeries sont établies sur le nerf stérile, *fig.* 4 (*b*), *Pl. XXI* : elles sont rectangulaires entre elles, dirigées, les unes suivant la direction, les autres suivant l'inclinaison de la couche; elles ont à peu près 4 mètres de largeur et 2m,50 de hauteur; de sorte qu'il reste encore 2 mètres de houille environ entre leur plafond et le toit de la couche. Elles comprennent entre elles des massifs rectangulaires de 12 mètres de large dans le sens de la direction, et 25 suivant l'inclinaison.

Au dépilage, on attaque les piliers en commençant par la rangée la plus rapprochée des éboulements supérieurs, et dans chaque rangée, par ceux qui sont les plus rapprochés des limites du champ d'exploitation. Chaque pilier est attaqué à sa partie supérieure par tailles dont la largeur est à peu près égale à celle des galeries. On enlève d'abord la houille sur une hauteur égale à celle des galeries, en soutenant, par des *buttes*, les 2 mètres de houille laissés au toit; puis, quand on a avancé de quelques mètres, on enlève tout ou partie des buttes, et l'on abat à la poudre la houille restante au faîte de la taille. Le toit se soutient quelquefois pendant plusieurs jours sans étais, quoiqu'il soit dépouillé sur une étendue superficielle de 16 mètres carrés environ; mais on attend sa chute avant d'aller plus avant. Suivant M. Burat, un pilier de 2 mètres de largeur horizontale sur 25 mètres de longueur dans le sens de l'inclinaison, peut occuper pendant 50 à 60 jours quatre mineurs qui fournissent ensemble 200 hectolitres de houille par jour.

Après l'enlèvement d'un pilier, on ferme par de bons murs enduits avec de la terre glaise, l'entrée des galeries, pour qu'elles ne soient pas encombrées par les éboulements, et on passe à l'exploitation du pilier voisin dans la même rangée.

Deux ans après que l'exploitation du banc supérieur est terminée, on peut attaquer les bancs inférieurs par des travaux poussés au dessous des éboulements de l'étage supérieur. Dans cet étage inférieur, on recoupe d'abord la houille en massifs allongés suivant l'inclinaison de la couche, par des galeries inclinées distantes de 10 mètres les unes des autres, et qui s'embranchent sur la galerie d'allongement ou voie de fond poussée à la partie inférieure du champ d'exploita-

tion. On a soin de n'exécuter les galeries inclinées qui découpent les massifs, qu'à mesure que le dépilage avance, afin de laisser à la houille toute sa solidité. Les piliers longs sont attaqués à leur partie supérieure par des tailles établies d'abord sur le mur de la couche, et auxquelles on donne une hauteur de 2 mètres environ; on reprend ensuite la houille supérieure, qui a été soutenue provisoirement par des poteaux, par un système de 1 ou 2 gradins. La *fig.* 4 (*c*), *Pl. XXI*, empruntée à *la Géologie appliquée* de M. Amédée Burat, donne une idée de ce travail dans lequel les deux étages sont exploités simultanément. Il paraît que, lors de l'introduction de la méthode Silésienne dans les mines de Blanzy, par M. Harmet, il y eut d'abord un grand nombre d'ouvriers blessés par les éboulements. Mais le nombre des accidents n'a pas tardé à diminuer, à mesure que les mineurs se sont familiarisés avec ce genre de travail.

Exploitation de la houille dans le nord de l'Angleterre. — Plusieurs des couches de houille exploitées dans les environs de Newcastle-sur-Tyne dans le Northumberland, et de Whitehaven dans le Cumberland, ont une puissance de 2 à 3 mètres. Elles ont une faible inclinaison, et sont souvent presque horizontales. La *fig.* 3 bis, *Pl. XXI*, peut donner une idée du système général d'exploitation qui est aujourd'hui habituellement suivi.

Deux puits A et B sont foncés, autant que possible, à la partie inférieure du champ d'exploitation. A partir du puits d'extraction A, une galerie tracée suivant la ligne de plus grande pente de la couche qui est supposée peu inclinée, est poussée jusqu'à la limite supérieure du champ d'exploitation. Cette galerie est la voie de roulage principale. Des deux côtés sont les chantiers d'exploitation. Ils sont séparés en plusieurs quartiers ou compartiments par des massifs de houille d'une très-grande épaisseur, au milieu desquels on pourra établir plus tard de nouveaux champs d'exploitation, suivant le même système. Dans chaque quartier, le gîte est coupé en piliers rectangulaires par deux systèmes de galeries; les unes, plus larges, sont horizontales et perpendiculaires à la grande voie de roulage, les autres, plus étroites, sont parallèles à la même voie. Celles-ci sont surtout destinées à l'aérage des galeries de niveau. Les dimensions des piliers rectangulaires sont variables d'une mine à l'autre, ainsi que celles des tailles ou galeries horizontales, et des galeries qui leur sont perpendiculaires. La longueur des piliers est assez habituellement à peu près double de leur hauteur. On ménage, entre les compartiments et la voie de roulage principale, des cordons de houille qui ne sont repercés que par des galeries étroites et deux fois plus écartées les

unes des autres que ne le sont les galeries de niveau. Des portes convenablement placées forcent l'air, qui descend par le puits d'extraction A, à circuler sur toutes les tailles, avant de revenir au second puits B par lequel le courant remonte au jour.

L'exécution des deux systèmes de galeries que nous venons d'indiquer constitue la première partie de l'exploitation.

La seconde partie est l'enlèvement des piliers, qui peut s'exécuter simultanément dans tous les compartiments. Dans cette opération, on prend à la fois plusieurs rangées horizontales de piliers, en commençant par la rangée la plus écartée du puits, et dans chaque rangée, par le pilier le plus écarté de la voie d'aérage. Ce système ne diffère au fond du système des massifs longs que nous avons décrit, qu'en ce que ces massifs longs sont repercés par des galeries à des distances assez rapprochées. L'exploitation embrasse d'ailleurs un champ très-vaste, et un puits unique fournit une énorme quantité de houille. Quand un compartiment est entièrement épuisé, on ferme, par des digues en maçonnerie, les passages qui avaient été ménagés entre ce quartier et la voie principale.

L'exploitation procède d'ailleurs, comme en Silésie et comme partout, d'une couche à l'autre en descendant; dans une même couche, il est assez indifférent de commencer le dépilage à la partie inférieure ou à la partie supérieure du champ d'exploitation, lorsque les couches sont sensiblement horizontales.

L'exploitation des couches horizontales d'une puissance de 2 à 3 mètres, conduite ainsi que nous venons de l'expliquer, ne présente d'ailleurs aucune difficulté par elle-même. L'important est de pousser les travaux avec activité, de proportionner les dimensions des piliers à la pression du terrain dans lequel la couche est encaissée, et de commencer le dépilage avant que cette pression ait écrasé les piliers dont l'exploitation deviendrait alors très-difficile, exigerait une fort grande quantité de bois, et ne fournirait plus que du menu. La pression du terrain est généralement considérable dans les terrains houillers du nord de l'Angleterre. Lorsqu'on laisse les galeries ouvertes pendant longtemps, leur sol se gonfle sous la pression des piliers, et elles sont bientôt obstruées par l'affaissement du toit et le gonflement du sol, en même temps que la houille des piliers est complétement broyée. L'aérage est un point qui exige les plus grandes précautions, dans ces mines, dont l'étendue est très-considérable. Nous traiterons ce sujet, avec tous les détails nécessaires, dans un chapitre particulier.

Dans plusieurs mines du Cumberland, où les couches plongent

sous le lit de la mer, les puits sont foncés à la partie supérieure du champ d'exploitation, et la voie principale de roulage est une vallée inclinée suivant la pente de la couche, dans laquelle les wagons doivent remonter.

L'exploitation par piliers longs qui ne sont pas abandonnés, telle que nous venons de la décrire, exige que la hauteur du gîte ne dépasse point une limite supérieure, qui est plus élevée qu'on ne serait tenté de le croire au premier abord, ainsi qu'on le voit par l'exemple des mines de houille de la Silésie et de Blanzy : elle dépend, au reste, du degré de solidité du toit et de la substance même du gîte.

Lorsque l'épaisseur du gîte est trop considérable, pour qu'on puisse donner aux premières tailles une hauteur égale à cette épaisseur, le même procédé peut encore être appliqué ; mais il faut alors procéder par étages successifs pris en descendant, et attendre que les éboulements de l'étage supérieur se soient tassés, avant d'entreprendre le dépilage de la partie correspondante de l'étage immédiatement inférieur. L'ensemble des couches 7 et 8 de la mine de Fuchsgrube, dans la Basse-Silésie, et la couche de Lucy, à Blanzy, nous offrent des exemples d'une semblable exploitation par étages, d'un gîte trop puissant pour qu'il soit possible de donner aux tailles une hauteur égale à l'épaisseur du gîte.

Quand on exploite un étage au dessous des déblais et des éboulements supérieurs, on laisse au toit des tailles une certaine épaisseur de houille ou de la substance du gîte, quelle qu'elle soit, dont on retire ce qu'on peut, à la fin du dépilage, en opérant ainsi que nous l'avons déjà expliqué. Néanmoins l'épaisseur de la masse que l'on est obligé de laisser, pour soutenir les vieux déblais, n'est pas extrêmement considérable, et il y a généralement peu de difficulté à exploiter au dessous d'anciens déblais, quand on est d'ailleurs dans une partie du gîte intacte, et qui n'a évidemment pu subir aucun ébranlement par suite des exploitations supérieures. Les obstacles que l'on rencontre ne sont pas causés par les éboulements mêmes, mais par les effets consécutifs de ces éboulements, tels que les incendies spontanés dans les mines de houille, l'affluence des gaz irrespirables qui se dégagent souvent du terrain disloqué, l'abondance des eaux.

Exploitation des gîtes puissants et très-inclinés par étages successifs en descendant.— Les gîtes à la fois puissants et très-inclinés peuvent aussi être exploités par étages successifs pris en descendant; les tailles et les piliers de chaque étage sont alors couchés dans un plan horizontal et transversal au gîte. Les premières galeries sont allongées parallèlement à la direction. La galerie de roulage doit

être assise sur le mur, ainsi que les galeries inclinées suivant la pente du gîte, par lesquelles les minerais extraits sont quelquefois conduits aux places d'accrochage pratiquées à des niveaux inférieurs à l'étage actuellement exploité. Une autre galerie est établie sous le toit, et quand la distance horizontale du toit au mur le permet, on peut recouper le massif compris entre elles par une ou plusieurs autres galeries parallèles, de manière à former des piliers longs, qui s'étendent jusqu'aux limites du champ d'exploitation, dans le sens de la direction. Ces piliers sont exploités en revenant vers les voies aboutissant aux places d'accrochage.

Les gîtes très-puissants et fortement inclinés dans lesquels les matières stériles sont insuffisantes pour le remblai, sont au reste ceux dont l'exploitation est à juste titre regardée comme offrant les plus grandes difficultés. Plusieurs couches de houille exploitées en France sont dans ce cas. Telles sont la couche exploitée au Creusot (Saône-et-Loire), les couches d'anthracite des environs de la Mure (Isère), les couches exploitées près d'Alais, dans la concession de Rochebelle (Gard), plusieurs parties de la grande couche exploitée près de Decazeville, et sur d'autres points du bassin d'Aubin (Aveyron), etc.

Exploitation de l'anthracite à La Mure. — L'exploitation des couches d'anthracite de La Mure par étages successifs pris en descendant, a été décrite par M. Giroud, concessionnaire de ces mines, dans le tome IX des *Annales des Mines*, 5e série, page 427. Dans les couches de la Rivoire et du Peychagnard, qui sont, sur beaucoup de points, très-inclinées, et dont la puissance varie de 5 à 12 mètres, on a divisé le massif de houille compris entre les vieux travaux voisins des affleurements et le niveau des galeries d'écoulement, en étages dont la hauteur verticale est de 4m,50 à 5 mètres. On a poussé dans chaque étage, *fig.* 4, 5 et 6, *Pl. XXII*, deux galeries d'allongement, l'une sous le toit, l'autre sur le mur, qui sont mises en communication par des galeries transversales, séparées les unes des autres par des massifs de houille de 10 mètres. Les deux systèmes de galerie ont environ 2 mètres de hauteur verticale, de sorte qu'il reste 2m,50 à 3 mètres d'anthracite d'épaisseur, entre le plafond des galeries d'un étage, et le sol des galeries de l'étage supérieur. Cette anthracite est enlevée, au dépilage, en même temps que les massifs compris entre les galeries. L'enlèvement des massifs se fait en commençant à l'extrémité la plus reculée de l'étage supérieur, au dessus duquel sont les vieux travaux. On creuse d'abord une galerie parallèle aux transversales, qui laisse subsister un cordon de houille de 1 mètre à 1m,50 de largeur entre elle et les éboulements latéraux, ou la limite du

champ d'exploitation ; puis on reperce ce cordon, *fig.* 5, *Pl. XXII*, par des galeries de 1 mètre de largeur à peu près, de manière à ne laisser subsister que de petits piliers d'anthracite dont la section est un carré de 1 mètre à 0m,50 de côté, suivant que l'anthracite est plus ou moins dure. On attaque alors au pic le plafond supérieur de l'étage en exploitation ; les ouvriers s'élèvent pour cela sur des déblais ou sur les menus qui sont abandonnés dans la mine. La partie dans laquelle le plafond est attaqué a toujours une petite étendue superficielle, 2 mètres carrés à 2 mètres carrés 1/2 seulement. On perce dans les éboulements supérieurs qui coulent dans l'étage en exploitation, et que l'on maintient par des murs bâtis en travers des galeries et appuyés sur la partie du pilier encore intacte. On abandonne dans la houille toute l'anthracite menue dont il n'est pas possible de tirer parti, et qui, d'après M. Giroud, forme à peu près 1/5 de la totalité. Quand le dépilage de l'étage supérieur est déjà avancé de 40 à 50 mètres, et que les éboulements sont tassés, on peut commencer le dépilage de l'étage qui est au dessous.

D'après M. Giroud, un ouvrier travaillant en galerie abat journellement au pic 1600 kilog. d'anthracite propre à la vente, et au moins 400 kilog. de menu qui sont abandonnés dans la mine.

Au dépilage des 3 mètres du massif supérieur de chaque étage, l'ouvrier fournit 2.700 kilog. d'anthracite en gros morceaux, et 1/10 environ de menus qui restent enfouis.

La quantité de bois d'étai consommée est assez peu considérable. Dans la couche du Peychagnard, qui est la plus tendre, on a consommé, dans les cinq années qui ont suivi 1850, 1 mètre cube de bois d'étai en cadres ou poteaux, et 0m, 81 de mètre-cube de *dosses* pour obtenir 191.000 kilog. d'anthracite.

2° *Exploitation par piliers carrés abandonnés en grande partie dans l'excavation.*

Gîtes qu'il convient d'exploiter par piliers carrés abandonnés.— On exploite ainsi les substances en couches puissantes, quand elles ont peu de valeur et une grande solidité ; telles sont les pierres à bâtir en couches épaisses, les ardoisières et les couches épaisses de sel gemme et de gypse ; trop souvent on exploite de la même manière des couches de houille d'une grande puissance : mais ce n'est jamais qu'avec beaucoup de danger pour les ouvriers, et une grande perte de houille. On conçoit en effet que si la masse exploitée n'est pas extrêmement solide, on sera obligé d'en laisser la plus grande partie

en piliers, et qu'il sera même souvent impossible, malgré ce sacrifice, de garantir les ouvriers du danger des éboulements.

L'exploitation par piliers abandonnés, lorsque la masse exploitée a une grande solidité, ne présente d'ailleurs aucune difficulté. Tout se réduit à proportionner les dimensions des piliers qui sont habituellement à base carrée, et celles des galeries, à la solidité de la masse et à la pression du toit, ce que l'expérience seule peut apprendre dans chaque cas. Nous citerons quelques exemples.

Exploitation du sel gemme dans les environs de Northwich (comté de Chester), en Angleterre. — On exploite, près de Northwich, un banc presque horizontal de sel gemme, à peu près homogène, dont la puissance est de 60 pieds anglais environ, et qui se trouve à une profondeur de 100 à 130 yards au dessous du sol.

L'extraction se fait par des puits verticaux circulaires muraillés en briques. Les galeries qui partent du bas du puits ont de 36 à 40 pieds de hauteur, de manière à laisser au faîte une forte épaisseur de sel gemme pour soutenir les couches de marnes et d'argiles qui recouvrent le gîte. La largeur de ces galeries est de 25 yards, elles sont rectilignes ou curvilignes, mais se croisent toujours à angle droit et sont séparées les unes des autres par des piliers carrés de 10 yards de côté qui suffisent pour soutenir le toit. Dans chaque taille, le sel est exploité à la poudre, en deux ou trois gradins droits, de sorte que l'entaille au faîte de la galerie est poussée en avant. Ces larges galeries sont très-solides et n'ont aucun besoin d'être étayées; on y a établi des chemins en fonte à ornières creuses, *tramm roads*, pour le transport du sel jusqu'au bas des puits. Les ouvriers qui abattent le sel sont payés à raison de 2 shillings, 2 fr. 53 c. par tonne de 1.000 kilogrammes. Le sel gemme le plus pur se vend à Northwich 16 shillings (environ 20 fr. 25 c.) la tonne. L'exploitation peut s'étendre fort loin du puits, sans que l'on ait à redouter des éboulements. Lorsque ces mines sont abandonnées, elles sont envahies par les eaux qui dissolvent en partie les piliers de sel gemme. Il en résulte des éboulements, moins considérables cependant qu'on ne serait tenté de le croire, d'après les vastes dimensions des excavations souterraines, parce que d'une part les eaux saturées de sel ne se renouvellent pas au fond de la mine, ce qui fait que les piliers ne sont dissous qu'en partie, et que d'autre part le toit des excavations est soutenu par la pression des eaux qui les remplissent.

Exploitation de sel gemme à Dieuze (Meurthe). — La couche de sel gemme de Dieuze (Meurthe) a 5^{m},20 de puissance. Elle est horizontale et exploitée également par piliers carrés abandonnés. Les ga-

leries ou tailles poussées dans la masse se croisent à angle droit; elles ont 6 mètres de largeur et 4m,20 de hauteur, laissant ainsi 1 mètre d'épaisseur de sel au toit. Les piliers carrés ont 4m,66 de côté. On a en outre pris la précaution de diviser le champ d'exploitation en compartiments isolés par des cloisons massives de 7 mètres d'épaisseur, repercées seulement d'ouvertures larges de 1m,50 où l'on pourrait établir des serrements, dans le cas où les eaux viendraient à faire irruption sur un point de la mine.

L'abattage du sel gemme qui se fait en deux gradins droits et à la poudre revient à peu près à 2 fr. 52 c. par tonne. (*Voyez* le mémoire de M. Levallois, *Ann. des mines*, 3me série, t. VI.)

Exploitation des bancs de pierre à plâtre des environs de Paris. — Les bancs de pierre à plâtre exploités dans plusieurs localités des environs de Paris sont distingués en hautes masses, moyennes masses et basses masses.

Les hautes masses ont de 15 à 18 mètres de puissance.

Les moyennes masses, de 5 à 7 mètres.

Les basses masses offrent, sur une hauteur totale de 12 mètres environ, des bancs alternatifs de pierre à plâtre, et de marnes ou d'argiles.

L'exploitation des hautes et moyennes masses est opérée souterrainement et par piliers *tournés*, c'est-à-dire ménagés dans la masse, lorsque l'épaisseur des terres qui les recouvrent rendrait trop coûteuse l'exploitation à ciel ouvert.

Les règles de l'exploitation souterraine, fixées par un réglement de police du 22 mars 1813, dont les prescriptions ne font d'ailleurs que rendre obligatoires les mesures dont l'expérience avait fait reconnaître l'utilité, sont les suivantes :

On ouvre au bas du puits vertical deux galeries se croisant à angle droit, et dont la largeur est de 3 mètres au bas du puits. Elles sont élargies progressivement jusqu'à 5 mètres. Perpendiculairement à ces galeries, on ouvre des tailles d'exploitation ayant également 5 mètres de largeur, et séparées par des piliers carrés de 3 mètres de côté. La section des galeries n'est point rectangulaire; elles sont taillées en encorbeillements, et la naissance de la courbe est à la moitié de la hauteur des piliers. La partie courbe ménagée sur la seconde moitié de la hauteur des piliers est appelée le *nez*. Sa saillie est d'un tiers de la largeur des galeries.

La hauteur des galeries est moindre que celle de la masse de plâtre. On laisse au toit un banc, dit des *moutons*, pour soutenir les terres supérieures.

L'exploitation ne s'étend guère ainsi que dans un rayon de 50 mètres autour du puits. Les piliers commencent alors à souffrir; les nez tombent; les ciels des galeries se fissurent, et l'exploitation doit être généralement abandonnée. On fait alors sauter les piliers à la poudre, en commençant par ceux qui sont les plus éloignés du puits, et l'on détermine l'affaissement et le comblement immédiat de l'excavation. Si l'on ne prenait pas ce soin, les piliers céderaient bientôt à la pression des terres, et il se ferait une suite d'éboulements partiels, ou *fontis*, à des époques qu'il serait impossible de prévoir, ce qui compromettrait la sureté publique. On ne retire de ce dépilage qu'une assez petite quantité de pierre à plâtre.

Les tailles sont d'ailleurs exécutées en deux ou trois gradins droits, suivant la hauteur de la masse, et les *ciels* sont souvent consolidés par des boisages. Les trous de mine sont forés dans la pierre à plâtre, avec une tarière de forme analogue au trépan rubanné usité dans les sondages. Ils ont de 3 à 4 centimètres de diamètre. Les masses de pierre à plâtre sont fréquemment traversées par des fissures ou filières, ce qui fait qu'elles sont beaucoup moins solides et résistantes que les bancs de sel gemme de Northwich et de Dieuze, qui forment un solide presque entièrement homogène, compacte et sans fissures.

On exploitait autrefois beaucoup de carrières de calcaire grossier, dans les environs de Paris, par tailles, et piliers *tournés* qui étaient ensuite abandonnés. Le réglement du 4 juillet 1813, sur l'exploitation des carrières de pierres à bâtir dans les départements de la Seine et de Seine-et-Oise, a interdit ce mode d'exploitation pour l'avenir, à cause des dangers qu'il présentait, et a prescrit d'exploiter le banc de pierre dans toute son étendue, en soutenant le toit, en arrière des ouvriers, par des piliers *à bras*, c'est-à-dire construits en moellons, reliés entre eux par des hagues ou murs en pierre sèche, qui retiennent les terres et autres menus débris résultant de l'exploitation, et qui servent au remblai complet ou partiel des excavations. Les piliers à bras sont disposés par rangées parallèles aux fronts de masse, et espacés, dans une même rangée, de 2 en 2 mètres environ. La distance de deux rangées de piliers est aussi à peu près de 2 mètres. Les bancs de pierres sont ainsi exploités par un seul puits, dans un rayon d'environ 50 mètres autour de ce puits.

Quelquefois on exploite un second banc de pierre à bâtir, au dessous du banc supérieur déjà exploité. Ces carrières inférieures sont appelées doubles carrières. On n'y doit prendre la masse que sur une hauteur de 2 mètres au plus. Les doubles carrières ne sont autorisées qu'autant qu'elles sont séparées des carrières supérieures par des

bancs suffisamment épais et solides. Elles sont d'ailleurs exploitées d'après le même système que celles-ci, au moyen de piliers à bras, de hagues et de remblais.

Carrières d'ardoises des environs de Fumay et de Rimogne (Ardennes).— Les détails qui suivent sur l'exploitation des carrières d'ardoise de Fumay et de Rimogne sont empruntés à un mémoire inédit de M. de Montmarin, ingénieur des mines. Les carrières des environs de Fumay sont ouvertes sur cinq bancs de schistes ardoisiers, séparés par des couches de grauwacke. L'épaisseur totale des bancs exploités est de 10 mètres en moyenne, sur lesquels les cinq bancs d'ardoise ont une épaisseur de 7 à 8 mètres. Le banc inférieur a $2^m,88$ d'épaisseur, puis vient une couche de grauwacke de $0^m,32$, un banc d'ardoise de $2^m,74$, et d'autres bancs moins épais d'ardoise alternant avec des assises de grès ou grauwacke à grains fins, ou de quartz compacte. Les couches sont inclinées de 30 degrés environ près des affleurements. L'inclinaison augmente avec la profondeur.

Les lits d'ardoise, indépendamment de leur texture schisteuse parallèlement au plan du gîte, sont, en outre, fissurés, ou plutôt ont une tendance à se diviser suivant deux systèmes de plans. La direction du premier système que l'on nomme le plan de la *tranche* est à peu près la même que celle de la couche; l'inclinaison des plans de division est seulement un peu plus grande. Les plans de facile division du second système, dit le *longrain*, sont verticaux et forment un angle de 25 à 30 degrés avec le plan vertical perpendiculaire à la direction des couches. Quelquefois aussi les masses d'ardoises se laissent facilement diviser dans le sens de la direction, mais cela est moins fréquent. Le toit et le mur du gîte sont très-solides.

Une carrière en exploitation est conduite de la manière suivante. On creuse, à partir de l'affleurement, une galerie appuyée sur le mur du gîte et inclinée suivant la ligne de plus grande pente. L'exploitation poussée des deux côtés de cette galerie, s'étend sur toute la hauteur des bancs du toit au mur, qui est de 10 mètres, ainsi que nous l'avons dit. On laisse, pour soutenir le toit, 1° des piliers longs appelés *naies*, qui vont depuis la galerie inclinée jusqu'aux limites du champ d'exploitation. Ils ont $6^m,50$ d'épaisseur mesurée suivant la ligne de plus grande pente, et ne sont repercés par aucune autre galerie que la voie principale. Les naies sont distantes de 25 à 26 mètres l'une de l'autre. Entre deux naies consécutives et au milieu de l'intervalle qui les sépare, on ménage, dans la masse, des pilliers carrés de $6^m,50$ de côté, distants entre eux de $9^m,50$,

suivant la direction, et laissant entre eux et les naies la même distance. Les naies sont utiles, non-seulement pour soutenir le toit et les déblais stériles provenant des parties supérieures de l'exploitation, mais encore pour retenir les eaux et les empêcher d'arriver en aussi grande abondance jusqu'au fond de la carrière. Les bancs d'ardoises sont exploités en s'élevant du mur au toit. On exécute d'abord, au dessus du mur et dans la veine inférieure d'ardoise, une excavation très-peu élevée, dont la base, dans le plan du gîte, est un rectangle ayant pour hauteur la distance d'une naie à la rangée de piliers supérieure ou inférieure, et dont la longueur horizontale dans le sens de la direction est de 13 mètres : ce travail se nomme *crabotage*. On abat ensuite l'ardoise par grands blocs ayant la forme d'un parallélipipède rectangle, en coupant sur trois des faces latérales jusqu'à un lit qui *plume*, c'est-à-dire qui n'adhère pas au banc supérieur. Les coupures sont dirigées suivant le *longrain* et perpendiculairement au longrain. Le massif abattu est ensuite subdivisé en blocs de 5 à 10 centimètres d'épaisseur, dont les deux autres dimensions sont assez petites pour qu'ils puissent être transportés à dos. Cette division se fait au ciseau et au maillet. Les ardoises sont débitées au jour en plaques ou feuilles de 2 1/2 millimètres d'épaisseur parallèlement à la *tranche*, et taillées suivant les dimensions des ardoises marchandes. Les lits stériles nommés cailloux fournissent des déblais sur lesquels des ouvriers s'élèvent pour exploiter les bancs supérieurs, mais qui ne remplissent pas à beaucoup près le vide des excavations.

A Rimogne, l'inclinaison des couches exploitées est de 40 à 45 degrés. Dans une des carrières, l'ensemble des bancs exploités a une épaisseur de 30 à 40 mètres. Dans les autres, cette épaisseur est de 14 à 15 mètres.

On laisse, pour soutenir le toit, des piliers carrés ménagés dans la masse, de 10 mètres de côté, et dont les faces latérales sont perpendiculaires au plan de la couche. Ces piliers sont assez irrégulièrement disposés, mais généralement séparés les uns des autres par une distance de 20 mètres, tant suivant la pente que suivant l'inclinaison. Les bancs sont d'ailleurs exploités, en procédant tantôt de bas en haut, tantôt de haut en bas, soit suivant la direction, soit suivant la pente.

Quand on exploite de bas en haut, on *crabotte* à la partie inférieure du massif sur une hauteur de $0^m,65$. Ce crabotage s'exécute de la manière suivante : On taille, au pic et à la partie supérieure du massif à exploiter, une galerie suivant la direction, haute de

0m,65, et d'une largeur simplement suffisante pour que l'ouvrier puisse y pénétrer, 32 à 35 centimètres. Une autre galerie perpendiculaire et de mêmes dimensions est creusée suivant la pente. A 1 mètre de distance mesurée suivant la pente de cette première galerie, on fait une coupure normale au *longrain*, sur toute la hauteur de 0m,65 et une profondeur de 22 à 26 centimètres. Puis on *have* au mur sur la même profondeur. On a ainsi un bloc de forme parallélipipède d'un mètre de longueur, 65 centimètres d'épaisseur et 22 à 26 centimètres de largeur, séparé de la masse sur la base inférieure et sur trois faces latérales. Il ne tient plus que par sa face supérieure, qui est peu adhérente, et par une face latérale. On achève de le détacher, en revenant à la tête et enfonçant des coins sur toute la hauteur du bloc, suivant la direction du longrain. On enlève une série de prismes semblables, suivant la direction, et on a ainsi pratiqué, à la tête du massif, une galerie de 1m,32 à 1m,35 de largeur, 0m,65 de hauteur, et dont la longueur est de 20 mètres, égale à celle du massif à exploiter. On continue d'enlever des prismes semblables sur toute l'étendue de ce massif, dont la base est un carré de 20 mètres de côté. Un ouvrier abat, dans sa journée, un volume de roche de 104 décimètres cubes. La durée du crabotage est habituellement de six mois. L'exploitation commence aussitôt qu'il est terminé. Elle se fait par lits successifs pris de bas en haut, les ouvriers s'élevant sur les déblais stériles ou sur des échafaudages. On coupe à la tête et au pied du massif sur une longueur de 20 mètres. On coupe ensuite sur un côté, suivant le *longrain*. Ces coupures se font sur une épaisseur d'un mètre. Le bloc qui ne tient plus que par la face supérieure et une face latérale est détaché au moyen de trous de mines, percés perpendiculairement au *longrain*, lesquels ébranlent le bloc sans le faire tomber, et d'autres trous percés dans la direction du longrain, qui déterminent la chute.

Pour les massifs qui sont exploités en procédant de haut en bas, on exécute d'abord sous le toit un crabotage semblable à celui que nous avons déjà décrit, et qui s'étend sur toute la superficie de 400 mètres carrés. Cette opération terminée, on fait aux extrémités du massif, deux coupures suivant le longrain, qui ont une profondeur variable, mais toujours inférieure à 32 centimètres. On divise le bloc de 20 mètres de côté en six parties, par des coupures perpendiculaires aux deux premières et de même profondeur que celles-ci. Ces prismes, qui ont 20 mètres de longueur totale, sont ensuite découpés en fragments, dont la largeur, entre deux plans de division parallèles au longrain, n'est que de 32 centimètres, et que l'on détache à l'aide de

coins enfoncés suivant le plan de la couche et suivant la direction du longrain. L'exploitation est conduite de manière à présenter des gradins droits; 15 à 20 ouvriers sont occupés à chaque atelier.

Exploitation des couches de houille puissantes par piliers carrés. — Nous avons dit que le mode d'exploitation, par piliers ménagés dans la masse et abandonnés, convenait peu aux couches de houille puissantes, tant à cause des incendies qui se développent souvent dans les vieux travaux, qu'à cause du peu de solidité de la houille. Néanmoins, ce mode est malheureusement suivi dans un assez grand nombre de localités. Il peut être d'ailleurs un peu moins désavantageux, lorsqu'il est appliqué avec discernement. Ainsi, on doit bien se garder, dans l'exploitation d'une couche de houille puissante par cette méthode, de découper la masse sur une grande étendue, à partir des points où elle a été atteinte par les puits ou galeries de service qui aboutissent au jour, parce que l'on serait alors obligé de laisser des piliers excessivement forts, qui même ne préviendraient pas toujours les éboulements, et l'on ne peut, à la fin de l'exploitation, retirer qu'une très-faible partie de la houille ainsi abandonnée. D'ailleurs, quand les couches ont une inclinaison un peu forte, il arrive assez fréquemment que les piliers glissent en masse sur leurs bases, parce que la houille n'a souvent aucune adhérence pour la roche du mur dont elle est au contraire séparée par une surface polie au point d'être miroitante, et tellement glissante qu'on a beaucoup de peine à s'y tenir debout, pour peu que l'inclinaison atteigne 15 à 16 degrés. Ce mode vicieux était cependant appliqué autrefois à presque toutes les couches de houille puissantes du centre et du midi de la France, notamment à celles du bassin de Saint-Étienne. Il en est résulté que l'on n'a retiré qu'une faible portion du combustible existant, et que le reste a été incendié, dans les parties qui n'ont pu être submergées, ou est demeuré enfoui dans des éboulements où il sera difficile d'établir une exploitation avantageuse.

Impossibilité d'exploiter les couches de houille puissantes et très-inclinées par piliers carrés abandonnés. — Si l'on veut appliquer à la houille une méthode semblable, il est évident qu'il faudra du moins opérer par compartiments ou chambres isolées, et commencer par se porter aux extrémités du champ d'exploitation, avant de découper la masse, à partir des puits ou galeries de service. Quant aux couches inclinées et puissantes, nous ne pensons pas qu'il y ait aucun moyen d'éviter des chances d'accidents nombreuses, et une énorme perte de houille. Il est évident en effet que si les tailles ou galeries sont couchées dans le plan du gîte, on s'exposera à voir

glisser les piliers en blocs sur leurs bases. Si les tailles sont transversales au plan du gîte, on aura des étages d'exploitation superposés, et il sera presque impossible d'éviter que les piliers ne soient en porte-à-faux d'un étage à l'autre, ce qui entraînera nécessairement des éboulements considérables et fort dangereux.

Exploitation de la couche dite Ten yards coal, *près de Dudley*.— Nous citerons le mode d'exploitation suivi aux environs de Dudley, comme exemple de ce qu'on peut faire de mieux, ou plutôt de moins mal, en exploitant une couche de houille épaisse, et à peu près horizontale, par piliers abandonnés. La couche dite *ten yards coal*, a une puissance de 10 yards (environ 9m,14). Elle est divisée en plusieurs bancs distincts par des lits de schistes bitumineux d'une épaisseur variable depuis 5 à 6 jusqu'à 60 ou 90 centimètres. Sa profondeur au dessous du sol est généralement médiocre. Elle est atteinte ordinairement par deux puits verticaux circulaires murailles en briques, et voisins l'un de l'autre. Tous deux sont souvent employés pour l'extraction de la houille et desservis par une même machine d'extraction. D'autres fois l'un sert exclusivement à l'extraction et l'autre à l'aérage. A partir du puits d'extraction on commence une galerie, *fig. 7, Pl. XXII*, suivant la direction ou suivant la pente du gîte. Cette galerie, que l'on divise en deux autres à mesure qu'on la creuse, suit le mur de la couche. Elle sert à la fois au roulage et à l'aérage. Sa hauteur est suffisante pour que des chevaux puissent y circuler, et on tâche de laisser au toit une planche de houille très-solide, pour éviter des frais de boisage trop considérables. Elle est exécutée de la manière suivante :

Les deux voies d'aérage et de roulage, qui partent de deux puits voisins ou de deux compartiments d'un même puits, se rapprochent de manière à ce que leurs parois *a* et *b* ne soient plus qu'à 60 ou 90 centimètres de distance ; les parois extérieures *a'* et *b'* sont distantes entre elles de 11 mètres environ. La hauteur de chacune de ces galeries *aa'*, *bb'* est de 4m,50 à 5m,50, à peu près la moitié de l'épaisseur de la couche. Six ouvriers se placent de front sur la longueur totale de 11 mètres *a'b'*, et exécutent un *crabotage* dans la planche de houille épaisse de 0m,65 environ qui reposent immédiatement sur le mur du gîte. Ce crabotage est poussé à une distance de 5 à 6 mètres en avant du front de la taille. Les hommes travaillent couchés sur le côté. Des enfants s'introduisent au fond de cette galerie basse et retirent, dans de petits traîneaux, la houille menue qui gênerait les piqueurs. Ceux-ci laissent derrière eux, quand le toit n'est pas solide, quelques piliers minces de houille, ou bâtissent avec des pierres de petits piliers.

Quand ils sont arrivés à 5 ou 6 mètres en avant du front de taille, ils enlèvent les piliers en pierres, coupent les petits massifs de houille, et se retirent. Ils laissent les choses dans cet état pendant un ou deux jours: la masse de houille supérieure à l'entaille faite au mur s'affaisse par son poids: il se fait des fentes horizontales entre les planches de houille et les lits de schistes ou nerfs; mais la masse ne tombe point encore. Les piqueurs arrivent alors, et coupent sur les deux côtés la planche inférieure de houille, qui tombe et est enlevée; les roches pierreuses qui se trouvent dans la masse, sont mises de côté pour construire une cloison entre la voie d'aérage et la voie de roulage. On coupe ensuite, sur les côtés, la planche supérieure qui tombe de même, et ainsi de suite jusqu'à ce que le bout de galerie correspondant au crabotage soit élevé au niveau du reste de la galerie.

L'opération se continue de la même manière par un nouveau crabotage, pendant que d'autres ouvriers construisent le mur qui doit séparer les voies de roulage et d'aérage, posent les rails sur la voie de roulage, etc.

De distance en distance, on laisse, entre les deux voies, des piliers de houille de même épaisseur que les murs en pierres que l'on construit pour les séparer. On comprend que dans les endroits où on laisse un pilier, il faut quatre coupures latérales au lieu de deux, et qu'on laisse ces piliers d'autant plus rapprochés que l'exploitation de la galerie fournit moins de déblais propres à la construction des murs qui vont d'un pilier à l'autre.

Lorsque la voie de roulage a atteint la limite du champ d'exploitation, on ouvre, à son extrémité, des galeries qui conduisent aux chambres d'exploitation.

Chaque chambre, *fig.* 8, *Pl. XXII*, comprend un espace dont la largeur est de 32 yards (29 mètres) environ, et dont la longueur est égale à deux ou trois fois la largeur. On y arrive par une ou deux galeries G, G′, partant de la voie de roulage, et de dimensions simplement suffisantes pour la circulation des chariots. Arrivé à l'emplacement où l'on veut établir la chambre ABC, on commence par exécuter une galerie, soit sur le prolongement de G ou de G′, soit perpendiculairement à celles-ci. On se donne du champ en poussant cette galerie sur une largeur de 12 yards (11 mètres). On établit un crabotage par 6 hommes placés sur ce front, et on opère comme dans le creusement de la galerie principale, décrite précédemment, si ce n'est qu'ici, le crabotage est continué par 6 ouvriers, tandis que d'autres travaillent à couper sur les côtés et à abattre les planches supérieures de houille, ce qui donne à un atelier de ce genre la forme d'un gradin renversé.

De plus la houille est abattue jusqu'au toit de la couche. Les ouvriers coupeurs s'élèvent sur les déblais stériles composés des débris des lits de schistes qui sont interstratifiés avec la houille. Si ces déblais ne sont pas suffisants, ils construisent des échafaudages. Quand les planches de houille coupées ne tombent pas assez vite, on provoque des éboulements à l'aide de longues perches. Au surplus, le crabotage qui a 12 yards de large moyennement, ne se continue guère dans le sens de la largeur de la chambre à plus de 33 yards : après quoi, on entame deux crabotages dans un sens perpendiculaire au premier et situés aux extrémités de celui-ci, ayant aussi 12 yards de largeur et laissant par conséquent entre eux un pilier de houille de 9 yards (8m,20) de largeur.

Ces deux crabotages se continuent en avant sur une longueur égale à deux ou trois fois la largeur de la chambre. Au fur et à mesure que le crabotage avance, on coupe et on abat la houille; enfin, on repierce le pilier longitudinal de manière à le diviser en deux piliers carrés de 9 yards de côté, et l'on laisse en outre souvent de petits piliers latéraux, carrés, de 5 yards (4m,50) de côté. Ces derniers piliers sont enlevés, quand on abandonne la chambre pour ne plus y revenir. Une chambre d'exploitation a toujours dans son milieu une rangée de piliers carrés de 9 yards de côté, au nombre de deux, trois ou quatre au plus, qui sont définitivement abandonnés, indépendamment des petits piliers qu'on enlève en se retirant.

Quand une chambre est épuisée, on en établit une autre à côté, en laissant entre les deux un pilier de houille long et mince appelé *ribb* (côte), de 4 à 5 yards d'épaisseur. En outre, toutes les entrées qui conduisent à une chambre abandonnée sont fermées avec beaucoup de soin, pour empêcher l'accès de l'air qui y circulerait inutilement, et pourrait occasionner l'inflammation de la houille.

La méthode de travail décrite ci-dessus est excessivement hardie et dangereuse. Les éboulements qu'on provoque s'étendent quelquefois plus loin qu'on ne le prévoit, et tuent plusieurs ouvriers. Le charbon menu est tout à fait perdu, ce que l'on regarde comme un médiocre inconvénient : mais les piliers carrés du milieu des chambres et les piliers, *ribbs*, qui séparent les chambres l'une de l'autre, sont également perdus pour toujours. L'air frais nécessaire à la ventilation, arrive dans les chambres par les ouvertures inférieures G et G′ ; il en sort à la partie supérieure, par des ouvreaux qui communiquent à une galerie creusée d'avance, près du toit de la couche, dans les massifs de houille qui enceignent la chambre d'exploitation, et qui communique avec le puits de sortie de l'air. Si la mine est sujette au gaz in-

flammable, le mieux est de mettre les voies d'air de chaque chambre, en communication directe avec le puits de sortie.

Les ouvriers craboteurs doivent couper dans leur journée 10 pieds carrés, 5 pieds de long sur 2 de large. Les autres ouvriers sont à la journée ou à la tâche, payés par un entrepreneur qui livre la houille rendue au bord du puits, à tant par tonne. Tous les ouvriers d'une mine sont ordinairement réunis dans une ou deux chambres d'exploitation au plus. A la houillère de Leys iron works, 21 ouvriers, y compris les enfants qui conduisaient les chevaux, extrayaient d'une seule chambre à deux ouvertures et à trois piliers carrés, 50,000 kilogrammes de houille par jour. Le gros seul était extrait, tout le menu restant enfoui dans les déblais. En supposant des chambres à trois piliers, séparées les unes des autres par des piliers d'enceinte continus de 5 yards, on peut calculer que sur 5040 yards carrés, mesurés dans le plan de la couche, la section des piliers occupe 808 yards, c'est-à-dire un quart environ de la surface totale. Il n'est pas douteux que la houille qui reste définitivement enfouie, ne s'élève beaucoup au dessus de cette proportion. Elle dépasse peut-être souvent la moitié de la totalité.

Méthode d'exploitation du sel gemme, par chambres de dissolution. — L'exploitation du sel gemme par dissolution, opérée dans des excavations souterraines préparées à l'avance, doit être rapprochée de l'exploitation par piliers ménagés dans la masse et abandonnés. Les chambres de dissolution sont en effet séparées les unes des autres par de semblables piliers, et l'action des eaux sur la substance soluble remplace ici celle des outils du mineur.

Le sel gemme est exploité par galeries souterraines creusées à la poudre et au pic lorsqu'il se trouve en bancs à peu près purs, comme à Nortwich, à Wieliczka, à Dieuze et Vic (Meurthe). Lorsqu'il est mélangé de matières terreuses, les matières extraites par entaillement devraient, dans tous les cas, être lessivées pour dissoudre le sel, que l'on obtiendrait ensuite par l'évaporation. Mais dans les localités où le dépôt de sel gemme est très-impur, il est plus économique d'opérer la dissolution dans la mine même, au moyen d'eaux douces que l'on y introduit. Les eaux, quand elles sont saturées de sel, sont extraites de la mine et conduites aux chaudières d'évaporation.

La méthode d'exploitation du sel gemme par dissolution est très-simple, comme on peut le pressentir d'avance. Il faut d'abord atteindre la masse salifère par un puits ou une galerie. On la traverse ensuite par une galerie sur laquelle on embranche des rameaux, au moyen desquels on reconnaît la richesse sur divers points de la masse.

On choisit les plus riches, pour y établir des chambres de dissolution, qui sont préparées comme il suit. Sur le côté du rameau, on creuse plusieurs bouts de galerie, qui mettent la roche à découvert sur une assez grande étendue. On établit une communication par laquelle les eaux douces venant des cours d'eau superficiels, puissent être introduites à volonté dans le rameau. A la partie antérieure de celui-ci, et sur le point où la roche est le plus solide et le moins chargée de sel, on construit un batardeau en terre argileuse. Ce batardeau est traversé par un tuyau en bois communiquant avec l'intérieur de la chambre, et fermé par un robinet ou un tampon. Cela fait, on amène les eaux douces dans l'excavation, et on les y laisse séjourner jusqu'à ce qu'elles soient complétement saturées de sel, ce que l'on vérifie de temps en temps, en soutirant une certaine quantité d'eau qu'on essaye à l'aréomètre. Les eaux étant saturées, on ouvre la bonde de décharge, et on les extrait, pour les conduire dans un réservoir, où on leur laisse le temps de déposer les terres qu'elles tiennent en suspension, après quoi on les transporte aux chaudières d'évaporation.

La chambre est de nouveau remplie d'eau douce, et l'opération se continue de la même manière. Il faut observer que les matières terreuses qui se détachent de la masse, par suite de la dissolution du sel, se déposent sur le sol et les parois de la chambre, de sorte qu'après un certain nombre d'opérations, les eaux douces agissent principalement sur le faîte de l'excavation qui va constamment en s'agrandissant, surtout dans le sens vertical. Il faut en conséquence exhausser le batardeau destiné à contenir les eaux.

Après un nombre d'opérations semblables, qui dépend de la richesse en sel, et de la nature de la roche, on vide les chambres de dissolution des dépôts terreux insolubles qui s'y sont accumulés. On a laissé préalablement à ces matières le temps de se sécher et de prendre un de consistance.

La mine de Dürrenberg, en Bavière, qui offre un bel exemple d'exploitation de sel gemme, par la méthode dont les principes viennent d'être exposés, est décrite avec beaucoup de détail dans la *Rich. min.*, t. II, p. 373 et suivantes. Elle renfermait, en 1810, trente-trois lacs ou chambres de dissolution distribués sur neuf étages. Les eaux douces étaient amenées dans les chambres par des conduits particuliers aboutissant au jour, et les eaux saturées étaient évacuées par des galeries d'écoulement correspondantes aux divers étages. Chacune de ces galeries était munie d'un plancher au dessous duquel s'écoulaient les eaux douces provenant des sources souterraines. Sur le plancher

étaient posées une voie de roulage pour l'extraction des matières solides, principalement des boues qui s'accumulent sur le sol des chambres de dissolution, et une conduite en tuyaux de bois destinée à l'évacuation des eaux saturées. Les chambres étaient habituellement disposées par couples des deux côtés de chaque galerie. Le tuyau traversant le batardeau se prolongeait jusqu'au fond de la chambre, et recevait les eaux salées par des ouvertures surmontées de caisses munies de grillages qui s'opposaient à l'introduction des matières terreuses. En dehors du batardeau était une cuve prismatique recevant l'eau de ce tuyau et communiquant avec la conduite posée sur le plancher de la galerie d'écoulement.

Toutes les eaux salées se rendaient dans de grands réservoirs où elles déposaient les matières tenues en suspension, et étaient ensuite soutirées pour être conduites aux chaudières d'évaporation à Hallein. (Voir, pour plus de détail, la *Richesse minérale*, t. II, p. 573 et suiv., planche 22 de l'atlas.)

Exploitation du sel gemme par puits forés. — Lorsque les gîtes salifères ne sont point situés au dessus du niveau des vallées voisines, et qu'il faut élever au jour, à l'aide de pompes, les eaux saturées qu'on ne peut pas faire écouler par des galeries, il est inutile d'atteindre les gîtes par des puits de grandes dimensions, pour exploiter le sel gemme par dissolution. Ces puits et tous les travaux souterrains peuvent être remplacés par de simples trous de sonde d'un diamètre de 25 à 40 centimètres, dans lesquels on place les pompes destinées à l'extraction des eaux saturées. Les eaux douces, qui sont souvent fournies par des nappes existantes dans les terrains supérieurs au gîte salifère, que la sonde a traversés, avant d'atteindre celui-ci, ou qui sont au besoin dérivées d'un cours d'eau coulant à la surface, sont introduites dans l'espace annulaire compris entre les parois du puits foré et les tuyaux de la pompe. Elles arrivent au gîte salifère où elles se chargent de sel. La circulation des eaux est entretenue par le jeu de la pompe installée dans le trou. Aussitôt après que le puits foré a atteint le gîte salifère et l'a traversé sur une hauteur assez considérable, on y descend la pompe, et on la met en mouvement. Elle ramène d'abord au jour des eaux très-peu salées, que l'on rejette. La circulation de l'eau étant entretenue par le jeu de la pompe, il se forme à la base de celle-ci, dans le gîte salifère, par suite de l'érosion des eaux, des excavations qui vont en s'agrandissant, et la pompe ramène au jour des eaux de plus en plus chargées de sel. Au bout de quelques mois elles sont presque saturées ; on peut les traiter dans les poêles d'évaporation. On comprend facilement les causes du

degré croissant de salure, à mesure que l'érosion des eaux agrandit les excavations qui se forment dans le gîte salifère. Dans l'origine, les eaux douces ne font que lécher des parois peu étendues sur lesquelles elles ne séjournent pas. L'excavation s'agrandit peu à peu tout autour de la base du trou de sonde, où il se forme un lac à parois salées; les eaux douces arrivant à la superficie de ce lac, y sont maintenues par leur moindre pesanteur spécifique au dessus des eaux salées, plus denses, qui occupent le fond; pendant que celles-ci sont extraites par la pompe, les eaux douces qui se sont salées à leur tour, descendent et font place à de nouvelles eaux douces. Plus le lac souterrain est grand, plus le mouvement descendant des eaux, de la surface au fond de ce lac, est lent, et plus longtemps aussi elles demeurent en contact avec les parois salifères. Il est évident que l'excavation souterraine se forme en dessus du point où les eaux pénètrent dans le tuyau aspirateur de la pompe, et qu'elle doit s'étendre surtout dans le sens horizontal, en suivant les ramifications du gîte les plus solubles, les plus riches en matières salines. Il est donc convenable que les tuyaux aspirateurs de la pompe descendent à une profondeur assez grande au dessous de la surface supérieure du gîte salifère.

La méthode d'exploitation du sel gemme par puits forés et par dissolution a l'avantage de dispenser du creusement des puits et de tous les travaux à demeure qu'exige une exploitation souterraine, et qui sont remplacés par de simples puits forés qui coûtent beaucoup moins cher. Elle est suivie avec succès, depuis l'époque de la découverte des gîtes salifères, dans les établissements de Dürheim et de Rapenau, dans le grand-duché de Bade, de Rottenmünster et des environs de Heilbronn (royaume de Würtemberg). Elle a aussi été pratiquée en France aux salines de Gouhenans (Haute-Saône).

Nous ferons remarquer que sur aucun des points que nous avons cités, l'exploitation du sel gemme par puits forés exécutée depuis un grand nombre d'années (1) n'a donné lieu à des mouvements de terrains qui aient été sensibles à la surface du sol, malgré l'énorme cube de sel qui a été définitivement extrait du sein de la terre. Il convient en outre de remarquer que ce cube n'est qu'une très-petite partie de la capacité des lacs souterrains existants réellement au milieu des masses salifères, qui, avant d'avoir été atteintes par la sonde, ali-

(1) Les exploitations des environs de Wimpfen et de Jaxtfeld, dans la vallée du Neckar, sont en grande activité depuis plus de vingt ans.

mentaient la salure de sources naturelles, exploitées depuis un temps immémorial. Il est évident que la forme particulière des excavations remplies d'eaux, et surtout la pression des eaux contre les ciels de ces excavations sont les causes qui préviennent les grands effondrements, et les mouvements de terrain qui se propageraient à travers toutes les assises supérieures jusqu'à la surface (1). Nous n'ajouterons rien de plus sur l'exploitation du sel gemme par puits forés et dissolution. Les procédés de sondage usités ne diffèrent pas de ceux que nous avons décrits en leur lieu. Quant aux pompes, elles diffèrent assez peu des pompes élévatoires à piston creux employées pour l'épuisement des eaux dans les puits profonds, qui seront décrites dans le chapitre consacré à l'épuisement des eaux. Le lecteur que ce sujet intéresserait spécialement, pourra d'ailleurs consulter mon mémoire sur les salines de la Souabe, *Annales des Mines*, 3e série, t. IX.

3° *Exploitation avec remblais rapportés, ou piliers de soutenement construits avec des matériaux venant de l'extérieur.*

Gîtes auxquels ce mode d'exploitation est applicable.—Ce mode d'exploitation convient à des gîtes puissants, d'une richesse à peu près uniforme, et dont la substance a une assez grande valeur. Quelques gîtes métallifères, où les métaux sont uniformément disséminés dans la gangue, de manière à rendre le triage impossible, sont dans ce cas. M. Baillet de Belloy a proposé depuis longtemps d'exploiter par remblais rapportés les couches de houille puissantes et fortement inclinées, et cette méthode a été en effet appliquée avec succès, depuis plusieurs années, aux couches de houille du Creusot et de Montchanin, dans le département de Saône-et-Loire. Enfin, quand des gîtes ont été mal exploités par piliers abandonnés, et que ces piliers commençant à céder sous la pression du terrain supérieur, deviennent incapables de le soutenir, il n'y a d'autre moyen de prévenir les éboulements considérables qui amèneraient la ruine complète de la mine, que de combler les excavations avec des remblais rapportés. C'est ce que l'on a été obligé de faire dans les étages infé-

(1) On peut juger par là à quel point les craintes exprimées par quelques personnes, sur les éboulements qui seraient occasionnés par les vides résultants des sables entraînés par les eaux du puits foré de l'abattoir de Grenelle, étaient dénuées de fondement.

rieurs des couches de houille épaisses du bassin d'Aubin, dans le département de l'Aveyron.

Mine de mercure d'Almaden. — Comme premier exemple du mode d'exploitation dont il s'agit, je citerai les mines de mercure d'Almaden, dans la province de la Manche (en Espagne). Je dois les détails qui suivent à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef des mines Le Play.

Le minerai de mercure d'Almaden se trouve dans un système de filons très-puissants encaissés dans des schistes de transition. La *fig.* 9, *Pl. XXII*, donne une idée de la forme du gîte.

La puissance de la branche San-Diégo, à la profondeur de 300 varas (1), est de 12 à 15 varas. Cette puissance paraît augmenter considérablement avec la profondeur. L'inclinaison du gîte est à peu près de 85°. Le toit et le mur sont excessivement solides, ainsi que la masse qui constitue le gîte, et qui ne peut être exploitée qu'à la poudre. Le minerai de mercure est disséminé à peu près uniformément dans toute cette masse, qui rend moyennement à la fonte 10 p. 100 de métal. Ces circonstances rendent la mine d'Almaden l'une des plus riches du monde. Les minerais de San-Diégo et Santa-Clara rendent 24 p. 100 de mercure à la fonte.

Le puits San-Théodoro, qui sert à la fois à l'épuisement des eaux d'ailleurs peu abondantes, au moyen d'une machine à vapeur, et à l'extraction du minerai, par un manége, est foncé dans un conglomérat formé des débris des schistes environnants, qui est lui-même très-tenace et résistant, quoique sa dureté soit peu considérable. Ce puits a atteint la profondeur de 300 varas, sans qu'il ait été nécessaire de le boiser ni de le murailler dans aucune de ses parties.

L'exploitation a lieu par étages successifs en descendant, distants de 30 varas les uns des autres environ.

A chaque étage, on exécute d'abord, en pleine masse et au milieu du gîte, une galerie horizontale qui en suit toutes les sinuosités. Puis, à partir du sol d'un étage, on creuse jusqu'à l'étage inférieur un puits rectangulaire dont le long côté transversal à la direction de la galerie s'étend du toit au mur du filon, et a par conséquent 12 à 15 varas de longueur, et le petit côté perpendiculaire à l'autre a 4 varas de longueur. Ce puits incliné, qui constitue une véritable taille descendante, a donc pour toit et pour mur le toit et le mur du gîte, pour parois latérales la masse métallifère. La solidité complète des

(1) La vara = 3 pieds espagnols = 0m,847.

roches dispense de le boiser. Quand il est arrivé au niveau de l'étage inférieur, on construit un grand arceau en pierre, dont les coussinets sont taillés dans la roche du mur et du toit. Sur cet arceau surbaissé dont la portée est égale à la puissance du gîte et dont la largeur est de 4 varas, dimension du puits en largeur, on élève un massif de maçonnerie rectangulaire, qui remplit exactement tout le vide du puits et forme ainsi un remblai complet, en maçonnerie à chaux et sable. Sur la hauteur, on ménage de distance en distance des arceaux appuyés aux naissances sur la roche des parois, afin de décharger l'arceau fondamental. Pendant que ce travail s'exécute, on creuse, à partir de l'étage supérieur, un second puits incliné, semblable en tout au premier et distant de celui-ci de 4 varas, longueur égale à la petite dimension du puits. Quand ce second puits est achevé, on remplit encore le vide par un massif plein en maçonnerie reposant sur un arceau fondamental, dont les coussinets sont taillés dans la roche des parois.

La partie du filon restant entre les deux massifs de maçonnerie est ensuite complétement exploitée, en remontant de l'étage inférieur à l'étage supérieur. Le toit et le mur sont assez solides pour qu'on puisse laisser entièrement vide l'espace compris entre deux massifs de maçonnerie consécutifs, sans avoir à craindre aucun éboulement. Si le toit avait besoin d'être soutenu sur quelque point, on le maintiendrait par des arceaux en maçonnerie jetés du toit au mur.

Par cette méthode, on enlève complétement tout le minerai, et l'exploitation des étages inférieurs n'est nullement gênée par les travaux des étages supérieurs, puisque tous les massifs de maçonnerie reposent sur des arceaux appuyés sur la roche du toit et du mur, et non sur la masse métallifère.

Les pierres employées sont des roches de quartz compacte qui se trouvent sur la crête même des filons, tout près du puits San-Théodoro, et que l'on exploite à la poudre pour cet usage.

Les pierres descendantes font contre-poids au minerai montant, de sorte que le transport des matériaux à pied d'œuvre coûte peu de chose. Il paraît que plusieurs des riches filons de métaux précieux du Mexique et de l'Amérique méridionale sont exploités de la même manière. Des réglements particuliers défendent d'enlever les piliers ménagés dans la masse du filon, avant d'avoir rempli une partie des vides existants par des piliers en maçonnerie, destinés à prévenir les éboulements.

Couches de houille exploitées par remblais rapportés. Couche du Creusot. — Dans l'exploitation des couches de houille puissantes, la

construction de piliers en maçonnerie serait ou trop coûteuse, ou insuffisante, à cause du peu de solidité que présentent ordinairement le toit et le mur de ces couches. On se contente donc de remplir les excavations avec des remblais informes consistant en terres prises au jour, que l'on met en place, et que l'on bourre avec plus ou moins de soin, suivant les circonstances.

La couche exploitée au Creusot a de 20 à 30 mètres de puissance : son inclinaison est variable, mais toujours très-forte ; sur une partie de son étendue, elle est verticale. Elle a été autrefois exploitée au moyen de puits foncés dans la masse même, et par étages successifs de 5 mètres de hauteur pris en descendant. A chaque étage on établissait un système de chantiers ou galeries horizontales, dont les unes suivaient la direction, et les autres allant du toit au mur étaient perpendiculaires aux premières. Ces galeries avaient 2 mètres de haut, 2m,33 de large, et étaient séparées les unes des autres par des piliers carrés de 3 mètres de côté. Malgré l'énorme quantité de houille abandonnée en piliers ou en plafonds intermédiaires d'un étage à l'autre, des éboulements nombreux eurent lieu ; le feu se mit dans la mine sur plusieurs points, et l'exploitation qui se continue aujourd'hui dans ces vieux travaux n'a plus rien de régulier et présente de grandes difficultés. On remblaye avec des terres amenées du jour les tailles successives que l'on pousse dans les vieux travaux ; c'est le seul moyen que l'on ait eu de continuer à exploiter, et il paraît que la houille ne revient pas, malgré cela, à un prix beaucoup plus élevé que lorsqu'on exploitait par piliers carrés.

Le mode d'exploitation, suivi aussi régulièrement que le permet l'existence des vieux travaux, est le suivant : deux galeries d'allongement contiguës l'une au toit, l'autre au mur, constituent à chaque étage les principales voies de communication. Elles ont 3 mètres de hauteur, 2m,65 de largeur à la base et 2m,55 au faîte. On établit entre elles des tailles transversales, allant du mur au toit, qui sont successivement remplies avec les remblais venant du dehors. Il résulterait de renseignements qui m'ont été donnés par M. Quétel, ancien directeur de la houillère du Creusot, que les frais de remblai ne s'élèveraient guère qu'à 0 fr. 375 c. par tonne de houille extraite, ou 0 fr. 0375 c. par 100 kilogrammes. Ils seraient moindres encore si la couche était neuve, et si, dans le principe, on l'eût exploitée par étages successifs, au moyen de tailles transversales établies à chaque étage, que l'on eut successivement remblayées avec des terres venant du jour ou de quelque autre partie de la mine. On aurait pu laisser dans cette méthode, si cela eût été reconnu nécessaire, quelques pi-

liers montant depuis le sol de l'étage inférieur jusque dans les étages supérieurs, ainsi que l'a proposé M. Baillet, dans son mémoire publié dans le *Journal des mines*, t. VIII, p. 497. Pour se convaincre de la possibilité d'appliquer cette méthode avec avantage, il suffit d'évaluer ce que peut coûter le transport du mètre cube de déblais mis en place dans l'intérieur d'une mine, dans des circonstances ordinaires.

Admettons que l'on trouve à une distance de 210 mètres du puits d'extraction de la terre à deux hommes à la fouille; il résulte des notions exposées, sur le déblaiement des terres, dans le chapitre IV, que les frais de piochage, et de transport par tombereaux jusqu'au bord du puits seront comme suit :

	fr.	c.
2 terrassiers gagnant ensemble 5 fr. par jour, piocheront 10 mètres cubes de déblais, d'où piochage du mètre cube.	»	20
Transport. En supposant 2 tombereaux de la capacité de 1/2 mètre cube pour chaque atelier de chargeurs, composé de 3 terrassiers et du conducteur, le prix du tombereau étant supposé de 5 fr. et le salaire des chargeurs de 1 fr. 50 c. par jour, le transport à 210 mètres coûtera.	»	43
Ensemble.	»	63

Les terres amenées au bord du puits pourront être jetées dans le puits, si celui-ci est assez solide, et on doit s'arranger pour que cela soit ainsi, afin d'éviter l'embarras et la dépense qu'occasionnerait leur descente dans des caveaux. Au bas du puits, elles seront chargées dans des brouettes ou des chariots, et transportées aux tailles à remblayer. Nous admettrons qu'un homme chargera 15 mètres cubes de terre dans sa journée, que la distance moyenne des tailles au bas du puits est de 120 mètres (4 relais de 30 mètres), que les frais de transport dans la mine sont les mêmes que pour des terres transportées au jour dans des brouettes à la même distance horizontale, enfin qu'un homme payé 2 fr. par jour mettra en place 8 mètres cubes de déblais dans sa journée. Il résulte de ces données que la dépense à ajouter à la précédente, sera comme il suit :

	fr.	c.
Chargement dans les brouettes au bas du puits. . . .	»	10
Transport à 120 mètres (4 relais) dans les galeries souterraines.	»	40
Mise en place.	»	25
Total.	»	75

D'autre part.	» 75
Report des frais de transport à l'orifice des puits. . .	» 63
Total	1 38

Or, il est évident que ces dépenses sont exagérées par les hypothèses que nous avons faites, et qu'elles peuvent être réduites de beaucoup. On peut en effet établir des voies de roulage par chemins de fer, soit au jour, soit dans la mine; c'est ce que l'on ne manque pas de faire toutes les fois que l'on a des transports considérables à effectuer, et dans ce cas les frais de transport des terres, soit au jour, soit dans la mine, seraient réduits au moins de moitié, même en supposant les distances plus considérables. Mais en admettant même un prix aussi élevé, l'opération serait encore avantageuse. Chaque mètre cube de remblai permettra d'enlever un mètre cube de houille massive, lequel pèse de 1300 à 1400 kilogrammes. Les frais de remblai ne s'élèveraient donc pas à plus de 10 c. par 100 kilogrammes de houille qui eussent été perdus, si ce mode n'eût pas été adopté. Or les 100 kilogrammes de houille valent moyennement dans le département de la Loire, où le prix de ce combustible est un des plus bas que je connaisse, 70 c. au moins. Il faut remarquer en outre que l'abattage de la houille contigüe aux galeries remblayées sera beaucoup plus facile que l'abattage dans les galeries exécutées en plein massif, et qu'il y aura une grande économie de bois, ce qui compensera, en grande partie au moins, les frais de remblai.

Ces considérations ne peuvent laisser aucun doute sur la possibilité d'exploiter avantageusement par remblais rapportés des couches de houille puissantes analogues à celle du Creusot, toutes les fois qu'on pourra se procurer des terres à proximité de la mine, ce qui a presque toujours lieu.

Frais de remblais exécutés dans les mines de houille de Decazeville et du Creusot. — Voici, du reste, quelques données d'expérience sur le prix de remblais exécutés dans des mines de houille. A Decazeville (Aveyron), on a exécuté des remblais considérables dans d'anciennes galeries très-larges, creusées depuis longtemps et qui menaçaient ruine. Les terres étaient prises au bord de puits verticaux dans lesquels on les jetait. Au pied de ces puits elles étaient chargées dans des brouettes et conduites par de mauvais chemins jusque dans les galeries à remblayer, dont la distance au puits était en moyenne d'environ 200 ou 300 mètres. Le prix du mètre cube de remblai mis en place n'a jamais dépassé 1 fr. 50 c., et il aurait été beaucoup meilleur marché si les voies de transport souterraines eussent été dans un

état passable. Les remblais ne devant être faits que temporairement, on n'avait pas jugé qu'il valût la peine de faire les dépenses nécessaires à l'établissement de bonnes voies de roulage.

Au Creusot, d'après les renseignements de M. Quétel, 3 hommes payés à raison de 1 fr. 40 c. par jour jetaient les terres par l'orifice du puits. Ils recevaient donc par poste de 8 heures, 4 fr. 20 c.

Les terres étaient chargées, roulées à une distance moyenne de 250 à 300 mètres, et mises en place dans des galeries qui avaient à peu près 5 pieds de large sur 5 pieds 1/2 de hauteur au prix de 5 fr. par toise courante remblayée. On remblayait, dans un poste, environ 4 toises de galeries. D'après ces données, on trouve que la toise courante de galerie contenait 165 pieds cubes ou 5 m. cubes, 5, et que l'on remblayait par jour 22 mètres cubes de vide.

Les frais par mètre cube de remblai roulé et mis en place étaient, en conséquence :

	fr.	c.
Jetage par le puits : $\frac{4,20}{22}$	»	19
Roulage et mise en place à forfait (pour une distance moyenne de 250 mètres).	»	91
Total.	1	10

A quoi il faudrait ajouter, s'il y avait lieu, le prix des remblais pris au jour et roulés au bord du puits.

Dans la mine de Montchanain, appartenant aussi à l'établissement du Creusot et dirigée par M. Quétel, on remblayait les galeries, partie avec des roches venant des excavations intérieures, partie avec des remblais tirés du jour et jetés par un puits. Les remblais n'étaient conduits ici qu'à une très-petite distance. Voici quelques données sur les prix, d'après les renseignements de M. Quétel.

En juillet 1853, on a dépensé 876 fr. 50 c., pour remblayer 146 mètres courants de galeries, dont 94 avec les terres du fond et 52 avec celles du jour. Les galeries ont 6 pieds de hauteur, 7 pieds de largeur en haut et 8 en bas, en moyenne, 7 pieds et demi.

Vide d'un mètre courant de galerie, 135 pieds cubes=4m. cubes,50.

Prix du mètre cube de remblai mis en place, 1 fr. 53 c.

En août, avec une dépense de 761 fr. 50 c. on a remblayé 88 mètres courants de galerie, dont 48 avec les terres du fond, et 40 avec celles du jour.

Prix du remblai d'un mètre cube de vide, 1 fr. 92 c.

En décembre, on a remblayé 89 mètres dont 64 avec les terres du

fond et 25 avec celles du jour, avec une dépense de 359 fr. 45 c., d'où par mètre cube, 90 c. (1).

Convient-il d'exploiter par étages successifs, pris en montant ou en descendant, les couches de houille puissantes et très-inclinées ? — M. Baillet de Belloy, dans le Mémoire sur l'exploitation des mines en masse que nous avons cité, estime qu'il convient d'exploiter les couches verticales ou très-inclinées, comme celle du Creusot, par étages successifs et remblayés, pris en montant, comme cela se pratique pour les filons épais de la Hongrie, où les tailles sont successivement remblayées avec les matières stériles provenant du gîte lui-même. Nous devons discuter avec soin cette dernière partie de l'opinion émise par M. Baillet. Le principe d'exploiter en commençant au point le plus profond du massif à enlever, et en montant, a été posé dans la plupart des ouvrages publiés sur l'exploitation des mines, et n'a guère été suivi dans la pratique. Ainsi nous avons dit que, dans

---

(1) Il est curieux de comparer la consommation en bois d'étai au Creusot avec la consommation dans les mines de la Silésie. Je trouve dans le mémoire de M. Heinzmann vol. II de l'*Arch. anci. de Karsten*, que la consommation en bois a été, en 1818, comme suit :

Pour 100 pieds cubes de houille extraite on a consommé :

Dans les mines de la haute Silésie.. . . .	1.78	pied cube de bois.
Dans le district de Waldenburg (basse Silésie).	3.4	*Id.*
Dans le comté de Glatz.	3.2	*Id.*

Dans les mines du Creusot, on peut arriver à déterminer approximativement la consommation en bois d'après les données suivantes : Le pied cube de bois d'étai en chêne sur 4 pouces de côté revient à peu près à 70 c. ; les barres employées comme bois de garnissage reviennent à 50 c. environ le pied cube. Or, d'après les données fournies par M. Quétel, la dépense en bois s'est élevée, par hectolitre de houille,

En 1827, à. . .	0f.,0769	moyenne	0f.,0559
En 1829, à. . .	0f.,0606		
En 1830, à. . .	0f.,0518		
En 1832, à. . .	0f.,0545		

Admettant que le prix du pied cube de bois revient moyennement à 0,60, on trouvera que l'on a consommé par hectolitre de houille extraite $\frac{0.0559}{0.60} = 0.093$ pied cube de bois ; et comme l'hectolitre équivaut à 3 pieds cubes, on aura consommé, pour 100 pieds cubes de houille extraite, 3,1 pieds cubes de bois.

l'exploitation de plusieurs gîtes parallèles, il fallait le plus souvent exploiter les gîtes successifs de haut en bas, en commençant par les plus rapprochés de la surface, ce qui est conforme à la pratique suivie dans les houillères du nord de la France et de la Belgique, aussi bien qu'en Angleterre et en Silésie. Nous croyons que, dans l'exploitation des mines en masse, par remblais rapportés, il est aussi plus généralement avantageux d'exploiter par étages successifs pris en descendant, que de suivre la marche inverse.

Supposons, en effet, que l'on pratique un étage d'exploitation dans une couche de houille verticale ou très-inclinée, immédiatement au dessous d'anciens travaux éboulés, en laissant seulement subsister une épaisseur de houille suffisante pour soutenir les déblais supérieurs à l'aide d'un boisage approprié, épaisseur qui serait de 0m,80 à 1 mètre au plus.

Les travaux d'exploitation auront consisté, par exemple, en galeries ou même en tailles d'un front plus ou moins étendu, poussées transversalement à la direction de la couche, et se rattachant à une voie de roulage principale assise sur le mur du gîte. Ces excavations auront été remblayées avec des terres apportées du dehors. Si l'on se décide à abandonner la houille laissée au faîte des tailles pour soutenir les éboulements supérieurs, il sera évidemment inutile d'entasser les remblais jusqu'au faîte, de manière à prévenir les tassements ou éboulements du terrain supérieur; car ces tassements et éboulements ne sauraient ébranler la masse de houille inférieure aux remblais, qui sera exploitée plus tard, en suivant un système analogue à celui que l'on a adopté pour l'étage supérieur. Le remblai pourra donc ne pas être bourré soigneusement dans les tailles, il pourra être fait assez incomplétement, de manière à ne remplir les tailles que jusqu'aux 3/4 de leur hauteur, sans compromettre les travaux ultérieurs. De plus, en exploitant un étage au dessous d'un autre qui aura été ainsi remblayé, on pourra ne laisser au faîte des tailles qu'une très-petite épaisseur de houille. Lors même que le plafond viendrait à rompre en quelques points sous le poids des remblais supérieurs, cela n'aurait guère d'inconvénients, parce que ces remblais ne sont pas combustibles, et que leur chute dans l'étage en exploitation ne pourrait contribuer à développer les incendies spontanés, qui sont la cause la plus grave de difficultés dans l'exploitation des gîtes houillers puissants. Cette chute serait donc plutôt avantageuse que nuisible, puisqu'il en résulterait un remblai naturel, pour ainsi dire, d'une partie des tailles. Rien n'empêcherait même qu'après avoir remblayé un ou deux étages, on pût exploiter, sans remblais rapportés, et en lais-

sant couler les remblais supérieurs, l'étage immédiatement inférieur. On combinerait ainsi l'exploitation par remblais rapportés, avec la méthode d'exploitation suivie en Silésie, à Blanzy et à La Mure.

Au contraire, si l'on exploite par étages successifs pris en remontant, il sera très-important de prévenir les tassements et les éboulements dans la partie du gîte supérieure à l'étage actuellement en exploitation, et dans le terrain encaissant; car par suite de ces tassements et éboulements, l'exploitation ultérieure dans les étages supérieurs serait plus difficile, plus coûteuse, et fournirait beaucoup de menu et très-peu de houille en gros morceaux. Il y aura donc, dans ce cas, nécessité d'opérer un remblai très-complet des tailles de chaque étage, et de les bourrer jusqu'au faîte. Il est vrai qu'en prenant ces précautions la houille de l'étage supérieur n'étant plus engagée par sa base dans la roche, sera d'un abattage très-facile, et qu'on ne sera obligé de laisser aucune partie de houille entre deux étages successifs superposés. Par ces motifs, cette dernière manière de procéder pourra convenir à des couches dont la houille serait dure, difficile à abattre, et fortement adhérente au toit et au mur, tandis que la première me paraît devoir s'appliquer avec plus d'avantage aux couches dont la houille tendre ou médiocrement dure est peu adhérente au mur et au toit, lesquelles sont de beaucoup les plus communes. Elle devra être aussi suivie exclusivement, dans le cas où l'on ne pourrait se procurer des remblais à bas prix, en quantité suffisante pour remplir la totalité des excavations.

4° *Méthode par éboulement.*

Dans quels cas ce mode d'exploitation est applicable.—L'exploitation par éboulement est souvent un accident de l'exploitation des gîtes très-puissants; elle est la seule que l'on puisse mettre en pratique, pour extraire tout ou partie du minerai que l'on a laissé en piliers, lorsque ces piliers ont été renversés ou écrasés par la pression des terrains supérieurs. Il n'est presque pas de mine métallique en amas ou en filons puissants, exploitée autrefois, qui n'ait donné ou ne puisse donner lieu à des exploitations de ce genre.

Exploitation du minerai dans de vieux travaux éboulés.—Pour extraire le minerai qui reste enfoui dans d'anciens travaux éboulés, on fait en sorte d'arriver par une galerie creusée dans une roche solide, ou parfaitement consolidée par de forts boisages, jusqu'au point où les roches éboulées contiennent assez de parties riches pour qu'elles puissent être extraites avec bénéfice. Arrivé là, on renforce

encore, s'il en est besoin, les boisages qui sont à l'extrémité de la galerie, et on fait couler les roches éboulées, que l'on transporte au jour. Bientôt il se fait un vide au devant de la galerie; les ouvriers placés à l'extrémité de celle-ci continuent à provoquer des éboulements au moyen de perches suffisamment longues, en s'abritant sous les boisages et se retirant rapidement, quand les éboulements commencent à se faire. Lorsque rien ne tombe plus du faîte des excavations qui se sont vidées des roches qui les remplissaient, on traverse ces excavations, en continuant la galerie dans leur intérieur. C'est là surtout qu'on doit employer des bois excessivement forts; on doit aussi recouvrir le faîte, et flanquer les parois libres de la galerie d'une assez forte épaisseur de déblais pour prévenir une rupture des boisages, qui pourrait être occasionnée par la chute de blocs de roches tombant d'une assez grande hauteur. On recommence le même travail sur tous les points où l'on rencontre des minerais éboulés.

On voit que l'exploitation par éboulement, ainsi conduite, est plutôt un accident, dans une mine, qu'une méthode particulière d'exploitation. Cependant, dans quelques cas, les éboulements sont provoqués au milieu d'un gîte neuf; il faut, pour que cela soit avantageux, que le minerai soit peu précieux, et qu'on n'ait aucun intérêt à l'extraire en morceaux d'une grosseur ou d'une forme déterminée. C'est le cas des couches de schistes exploités dans la vallée de la Meuse, en Belgique, pour la fabrication de l'alun.

Exploitation des schistes alumineux de la vallée de la Meuse.— Ces schistes forment un ban puissant de 16 à 18 mètres, et incliné de 70 à 80°, encaissé dans le calcaire carbonifère inférieur au terrain houiller du bassin de la Meuse (Belgique). Ce gîte est exploité par éboulement et par étages successifs de haut en bas. On fonce un puits vertical dont l'orifice est sur l'affleurement du gîte, et qui par conséquent pénètre, à une petite profondeur, dans le mur de la couche. A partir de ce puits, et au niveau que l'on veut atteindre, on perce une galerie à travers bancs, que l'on continue à travers le gîte jusqu'à son toit. A partir de celle-ci, on exécute, en suivant le mur, une galerie d'allongement solidement boisée, que l'on continue jusqu'à 120 mètres de distance environ de part et d'autre de la galerie de traverse. On pratique souvent deux galeries parallèles à celle-là : l'une sous le toit, l'autre dans le milieu de la couche. On choisit pour ces deux galeries les lits de schistes les plus tendres; on reperce par des galeries transversales qui partent de la voie établie sur le mur, les piliers longs qui sont ainsi transformés en piliers carrés. On enlève ensuite tous les boisages, excepté ceux de la galerie qui est assise sur

le mur, en commençant par les points les plus éloignés ; on se retire et on laisse l'éboulement se faire paisiblement, ou bien on le provoque, quand la masse est plus compacte. En général, on attend la chute naturelle des schistes. Pendant qu'elle a lieu, on prépare un autre étage à un niveau inférieur. Pour cela, on fonce le puits vertical de 5 à 6 mètres. A ce niveau, on va rejoindre le gîte, et l'on exécute un système de travaux semblables en tout à ceux de l'étage supérieur. Les schistes éboulés de l'étage supérieur sont ensuite extraits par des ouvriers qui se tiennent dans la galerie d'allongement pratiquée sur le mur, et poussent à travers les déblais, du mur au toit, des galeries boisées à mesure que l'on avance vers le toit, et qui sont déboisées en reculant pour amener les éboulements.

Quand le schiste est très-ébouleux, ce dernier travail peut se faire immédiatement et sans travail préparatoire. Les éboulements se propagent à une assez grande distance dans le sens vertical, et la distance à laquelle on place les étages en descendant, est telle qu'ils se propagent d'un étage à l'autre.

Il reste une quantité de schistes enfouis qu'il est impossible d'évaluer. On peut rentrer plusieurs fois dans le même étage d'exploitation, lorsque les déblais résultants de la première exploitation sont suffisamment tassés, pour permettre d'y pénétrer sans danger.

Mode d'exploitation qui était autrefois pratiqué à Rive-de-Gier. — Je décrirai ici le mode d'exploitation qu'on suivait autrefois dans le bassin houiller de Rive-de-Gier, et auquel on a substitué aujourd'hui, avec beaucoup de raison, l'exploitation par remblais rapportés. Il a avec la méthode par éboulement cette analogie, que ce sont les mouvements du terrain provoqués par les premières tailles qui fournissent le moyen de continuer l'exploitation. Le fait du gonflement du sol des excavations n'est pas du reste particulier à la localité dont il s'agit ; il est assez fréquent dans les bassins houillers. Dans les mines des comtés de Northumberland et de Durham en Angleterre, on a quelquefois mis à profit cette circonstance, pour enlever les piliers que l'on avait abandonnés dans la première période de l'exploitation ; mais comme le dépilage ne fournissait alors que de la houille menue, et exigeait une énorme quantité de bois, on a grand soin aujourd'hui d'enlever les piliers, avant que les mouvements de terrain, qui coïncident avec leur écrasement, commencent à se manifester.

On exploite dans le bassin de Rive-de-Gier plusieurs couches de houille dont la principale a une épaisseur de 8 à 10 mètres moyennement. Elle est divisée en deux parties par un lit d'argile schisteuse

appelée dans le pays le nerf blanc. Les qualités de la houille au dessus et au dessous du nerf blanc sont un peu différentes. La masse du terrain houiller de Rive-de-Gier est en général peu solide. Le toit de la couche est éboulleux, et le mur est composé de schistes susceptibles de se gonfler. C'est sur cette propriété du sol qu'était fondé l'ancien mode d'exploitation.

On attaquait d'abord la partie de la couche inférieure au nerf blanc, et on y établissait un système de tailles séparées entre elles par des piliers de houille. Les tailles n'étaient pas poussées dans une direction constante ni régulière; l'on s'attachait à les diriger perpendiculairement au *gît*, c'est-à-dire aux plans de division naturels de la houille, afin que l'abattage fût plus facile : on sacrifiait, à ce qu'il paraît, toutes les autres considérations à celle-là, et comme la direction du gît est très-variable, il en résultait des tailles très-sinueuses, séparées par des piliers qui n'étaient pas moins irréguliers que les tailles. Dans les endroits où les piliers se trouvaient le plus minces, ils étaient écrasés par la pression du terrain supérieur. Sur quelques points, et à la suite d'un premier éboulement accidentel, on établissait de vastes chambres dans lesquelles on provoquait des éboulements de houille que l'on allait ensuite ramasser. Ces éboulements se propageaient dans le toit de la couche, et les chambres étaient abandonnées quand le toit venait à tomber.

Sur les points où les piliers pouvaient supporter la pression du terrain supérieur, on les reperçait par de nouvelles tailles aussi peu régulières que les premières. Pendant que ces travaux s'exécutaient dans la partie inférieure, de la couche, il arrivait que le sol des tailles exécutées sur un autre point de la mine se gonflait, et que les tailles se bouchaient presque complétement par le rapprochement du sol et du faîte. On revenait alors prendre sur ce sol la partie de la couche supérieure au nerf blanc. Les galeries de l'étage supérieur n'étaient pas toujours établies au dessus de celles de l'étage inférieur; souvent elles traversaient les piliers. Ceux-ci, écrasés par la pression, donnaient beaucoup de houille menue, et comme tout le terrain était ébranlé, il fallait une quantité énorme de bois pour soutenir les tailles nouvelles que l'on établissait, et tenir ouvertes les voies de communication. Le roulage était en outre très-difficile à cause des ondulations du sol qui provenaient souvent, non pas d'irrégularités naturelles de la couche, mais d'un gonflement irrégulier des schistes du mur. Les incendies qui se déclaraient dans les parties de la mine où avaient eu lieu des éboulements, augmentaient encore les difficultés et la quantité de houille qu'on était obligé de laisser enfouie.

Mode de dépilage suivi autrefois à Saint-Étienne. — Plusieurs couches de houille épaisses et peu inclinées du bassin de Saint-Étienne, étaient exploitées autrefois par un système de tailles auxquelles on donnait toute la hauteur de la couche, moins $1^m,50$ à 2^m, parce que l'on laissait de la houille au toit, pour prévenir des éboulements, et une planche de houille au mur, pour prévenir le glissement des piliers qui séparaient les tailles les unes des autres. Le dépilage dans ces couches épaisses était très-dangereux et l'on n'en retirait qu'une faible partie de la houille laissée en piliers. C'était au fond une véritable exploitation par éboulement.

CHAPITRE VIII.

AÉRAGE DES MINES.

Causes qui contribuent à vicier l'air dans les mines. — L'air, dans les mines, et généralement dans toutes les excavations souterraines, est altéré : 1° par soustraction d'une partie de son oxygène; 2° par des mélanges d'autres gaz. Ceux-ci proviennent de la décomposition chimique de certaines substances, ou se dégagent, soit des fissures et des cavités du terrain, soit des cellules de la roche qui forme les parois des excavations.

L'oxygène de l'air est absorbé par la respiration des ouvriers, la combustion des lumières, et la décomposition chimique de beaucoup de substances, qui se rencontrent dans les mines, ou que l'on est obligé d'y apporter du dehors.

Dans l'acte de la respiration, l'air expiré renferme à peu près autant d'azote que l'air inspiré : une partie de l'oxygène de l'air inspiré est remplacée, ou peut s'en faut, par son équivalent en gaz acide carbonique et en vapeur d'eau.

Il paraît que le volume d'air inspiré par un homme est, au plus, de 19 mètres cubes par 24 heures, ou 792 litres par heure. Le volume de gaz acide carbonique expiré est en même temps les 0,03 environ du volume d'air inspiré; de sorte qu'un homme exhale 570 litres par 24 heures, ou 24 litres par heure, de gaz acide carbonique. (Instruction pratique sur l'emploi des lampes de sûreté, et sur les moyens de pénétrer sans danger dans les lieux méphitisés. *Annales des Mines*, 1re série, tome X, pag. 45 et 47.)

La combustion des chandelles ou des lampes absorbe une quantité d'oxygène, qui dépend de la nature et du poids de la substance brûlée dans un temps donné. Il y a en même temps production de gaz acide carbonique et de vapeur d'eau. La combustion d'une lampe de la plus grande dimension, parmi celles qu'on emploie dans les mines, consomme moins d'oxygène que la respiration d'un ouvrier.

L'oxygène de l'air est encore absorbé par la décomposition chi-

mique de plusieurs substances qui se trouvent ordinairement dans les mines. Ainsi, sous la double influence de l'air et de l'humidité, des sulfures se transforment en sulfates; certains protoxydes ou protocarbonates métalliques en peroxydes; les matières végétales et animales éprouvent, comme on sait, dans les mêmes circonstances, une fermentation putride dans laquelle l'oxygène de l'air disparaît, en se combinant avec quelques-uns des principes élémentaires de ces substances, et dont les produits qui se répandent dans l'air ambiant, sont principalement du gaz acide carbonique, des composés gazeux de carbone et d'hydrogène; de l'azote et de l'ammoniaque pour les matières azotées. Ces gaz entraînent encore avec eux d'autres substances, que l'analyse chimique n'a pu isoler, qui ont habituellement une odeur infecte, et exercent sur les hommes qui les respirent une action délétère au plus haut degré : on leur donne le nom de *miasmes*.

La plupart des combustibles minéraux, et notamment les houilles, éprouvent également, quand ils sont exposés à l'air, une altération qui n'a pas été étudiée par l'analyse chimique, mais qui se manifeste par les modifications de quelques-unes de leurs propriétés. Il est présumable qu'il se fait une sorte de combustion lente dans laquelle il y a absorption de l'oxygène de l'air, et dont les produits principaux sont de l'eau et de l'acide carbonique. Il se forme probablement aussi, dans certains cas, des composés gazeux de carbone et d'hydrogène.

Les gaz sortant des fissures et cavités du terrain, ou des pores de la roche qui constitue les parois des excavations, sont le plus ordinairement le gaz acide carbonique et l'hydrogène proto carboné; plus rarement, de l'hydrogène sulfuré.

Les gaz dus à la décomposition chimique de certaines substances sont principalement ceux qui se forment par la déflagration de la poudre employée dans les travaux des mines; ceux-ci sont un mélange en proportions vraisemblablement variées suivant le dosage de la poudre, et peut-être aussi suivant qu'elle est plus ou moins humide, et que la combustion est par conséquent plus ou moins vive, d'acide carbonique, d'azote, d'oxyde de carbone, de vapeur d'eau, d'hydrogène carboné, et d'un peu d'hydrogène sulfuré. Les produits solides de la détonation, qui sont composés de poudre non brûlée, de sulfate de potasse et de sulfure de potassium, sont projetés en particules très-ténues dans l'atmosphère ambiante, qui en est obscurcie. Les fumées de la poudre, surtout de la poudre de mine, ont une odeur désagréable, et irritent fortement les organes de la respiration, de sorte qu'il est indispensable de les expulser, par le renouvellement prompt de l'air, à l'endroit de la détonation.

Il paraît que la réaction de l'eau liquide, ou en vapeur, sur certaines substances, telles que les sulfures de fer en décomposition, donne lieu à une petite quantité d'hydrogène sulfuré.

La décomposition des carbonates de chaux ou autres, par des eaux acides qui se rencontrent fréquemment dans les mines, peut produire de l'acide carbonique.

Dans les mines de houille en feu, il se dégage un mélange d'acide carbonique, d'oxyde de carbone, d'acide sulfureux dû à la combustion du soufre des pyrites que presque toutes les houilles renferment en quantité plus ou moins considérable, de gaz hydrogénés et carburés. Les gaz provenant de la combustion vive de la houille dans les mines ont une odeur particulière et pénétrante excessivement désagréable.

Dans les mines de mercure riches, l'atmosphère est chargée de vapeurs de mercure, qui ont sur la santé des ouvriers une action funeste, qu'on ne paraît pas être parvenu à neutraliser par l'activité de la ventilation.

Dans les mines qui renferment de l'arsenic natif ou combiné, on sent l'odeur particulière à l'arsenic; néanmoins les ouvriers n'y éprouvent aucune incommodité fâcheuse, lorsque l'aérage est suffisamment vif.

Ainsi, en résumé, les gaz que l'on rencontre dans les mines se réduisent à un assez petit nombre. Ce sont très-ordinairement :

L'acide carbonique ;

L'azote en excès sur les proportions de l'air atmosphérique;

L'hydrogène proto-carboné pur, ou mélangé avec de l'hydrogène deuto-carboné ;

Des miasmes.

Plus rarement, et en moins grande abondance :

L'hydrogène ?

L'hydrogène sulfuré ;

L'oxyde de carbone ;

L'acide sulfureux ;

Des vapeurs mercurielles ou arsenicales dans les mines de mercure ou d'arsenic.

Acide carbonique.—La pesanteur spécifique de ce gaz, comparée à celle de l'air, est 1,524.

Il est légèrement soluble dans l'eau, qui en absorbe un volume à peu près égal au sien, sous la pression atmosphérique. Sous une pression plus grande, l'eau en absorbe une quantité plus considérable, qui se dégage aussitôt que l'excès de pression est supprimé.

L'agitation suffit pour expulser presque complétement l'acide carbonique.

Les alcalis caustiques et les terres alcalines l'absorbent très-rapidement et le retiennent avec force. Ainsi, pour en purger l'air, il suffit de le faire passer à travers un lait de chaux ou une dissolution de soude, ou de potasse caustique.

Il est impropre à l'entretien de la combustion et à la respiration.

L'air atmosphérique, mêlé à un dixième de son volume de ce gaz, devient impropre à l'entretien de la combustion, et les lumières qu'on y plonge s'éteignent immédiatement: elles brûlent déjà mal dans un air qui en contient de 5 à 6 p. 100.

L'homme ne peut respirer, sans danger, de l'air qui contient au delà de 8 p. 100 d'acide carbonique. En moindre proportion, il exerce sans doute sur la santé une influence pernicieuse, mais il n'y a point danger d'asphyxie.

Ce gaz paraît agir sur les personnes qui le respirent à la manière des poisons. L'asphyxie a lieu dans un temps très-court, et n'est précédée que de quelques douleurs à la tête et aux yeux. Les hommes asphyxiés par l'acide carbonique sont rappelés à la vie lentement et avec beaucoup de difficultés. Il faut même, pour que l'accident ne soit pas fatal, qu'ils ne soient restés que peu de temps, après l'asphyxie, dans l'air irrespirable; lorsqu'ils en reviennent, ils éprouvent pendant quelques jours des malaises particuliers, surtout des maux de tête violents.

Le gaz acide carbonique se forme, dans toutes les mines, par la respiration des ouvriers, la combustion des lumières, la déflagration de la poudre, la fermentation putride ou la combustion lente de toutes les matières végétales ou animales, et probablement des combustibles minéraux.

Indépendamment de ces causes générales de production, il se dégage fréquemment, en grande abondance, des fissures ou cavités du terrain. La plupart des eaux minérales, et même des eaux de source non réputées minérales, en contiennent et le laissent dégager lorsqu'elles arrivent au jour, ou qu'elles traversent des cavités souterraines communiquant avec le jour. Il arrive donc souvent qu'on rencontre dans le creusement des galeries souterraines de véritables sources d'acide carbonique. Cela a lieu surtout dans les localités où il existe des sources d'eaux minérales gazeuses, par exemple aux mines du Pont-Gibaud (Puy-de-Dôme), dans les environs de Rochebelle (Gard), dans la vallée de Brohl sur les bords du Rhin, etc.

Les excavations naturelles ou artificielles, non fréquentées, qui ne

communiquent avec le jour que par une seule ouverture, et dans lesquelles l'air n'est pas renouvelé, sont généralement, et peut-être, sans aucune exception, remplies d'un air contenant beaucoup d'acide carbonique. Celles qui ont plusieurs ouvertures, et où l'air se renouvelle, au moins en partie, en sont aussi très-fréquemment infestées, parce que le courant d'air, par suite des dimensions trop petites ou de la disposition des ouvertures, peut être insuffisant pour l'entraîner au dehors. En conséquence, on ne doit pénétrer dans ces excavations qu'après s'être assuré préalablement que l'air qu'elles renferment est capable d'entretenir la combustion des lampes. On doit également user de beaucoup de précautions, lorsqu'on entre dans les travaux abandonnés des mines, ou que l'on ouvre des communications avec ces vieux travaux.

Les causes générales qui donnent lieu au développement de l'acide carbonique suffisent pour expliquer sa présence dans toutes les excavations où l'air ne se renouvelle pas. En vertu de sa grande pesanteur spécifique, il tend à s'accumuler en plus grande quantité dans les parties basses de ces excavations. Néanmoins, la propriété qu'ont tous les gaz de se mêler entre eux, malgré les différences de pesanteur spécifique, lorsqu'ils sont contenus dans un même espace ou dans des capacités qui communiquent entre elles, fait qu'il se répand partout dans les lieux où il existe, bien qu'il demeure toujours plus concentré dans les parties basses.

Quant aux excavations dans lesquelles l'air se renouvelle, et aux galeries de mines en général, il y a formation permanente, en quantité plus ou moins considérable suivant les circonstances, de gaz acide carbonique, et il est nécessaire que la ventilation soit suffisante pour l'entraîner incessamment au dehors, et maintenir la quantité qui se trouve mêlée à l'air dans toutes les parties de travaux, au dessous de la limite où il nuirait à la santé des ouvriers.

Azote. — Son mélange avec l'oxygène, dans la proportion de 79 à 21 en volume, constitue l'air atmosphérique.

Sa pesanteur spécifique est de 0,976.

Il est impropre à la respiration et à l'entretien de la combustion; mais il n'exerce par lui-même aucune action nuisible sur l'économie animale. L'asphyxie dans le gaz azote n'a lieu que par suite de la privation d'oxygène.

L'air atmosphérique appauvri d'oxygène jusqu'à un certain point, et par conséquent plus chargé d'azote, peut être encore respiré sans aucun danger, et entretient la combustion.

Suivant le docteur Aloys Wehrle, une chandelle de suif continue

à brûler tant que l'air où elle est plongée contient plus de 18 p. 100 d'oxygène, ou moins de 82 p. 100 d'azote. La lampe de mineur ordinaire brûle, même dans un air qui ne contient que 16 p. 100 d'oxygène; et enfin, une lampe d'Argant à double courant d'air ne s'éteint que quand l'oxygène est au dessous de 14 p. 100 du volume total. Suivant le même auteur, un air surchargé d'azote cesse d'être respirable et détermine l'asphyxie lorsqu'il ne contient que 15 p. 100 d'oxygène en volume. L'asphyxie est moins prompte et a des suites moins dangereuses que celle qui est produite par l'acide carbonique.

Dans toutes les excavations où il se forme de l'acide carbonique aux dépens de l'oxygène de l'air, on doit trouver à la fois de l'acide carbonique et un excès d'azote. C'est en effet ce mélange qui se rencontre dans les anciens travaux des mines où l'acide carbonique se développe par la combustion lente de matières végétales ou animales, et dans les galeries de mines en exploitation qui ne sont pas suffisamment aérées.

Hydrogène proto-carboné.—L'hydrogène proto-carboné est composé de deux volumes d'hydrogène et d'un volume de vapeur de carbone, condensés en un seul, ou en poids de:

Hydrogène.	26,06
Carbone.	73,94

Sa pesanteur spécifique est de 0,555.

Mêlé en proportion convenable à l'air atmosphérique, il prend feu à l'approche d'un corps en combustion ou par l'étincelle électrique. Il brûle avec une flamme d'un bleu pâle, donnant fort peu de lumière; les produits de la combustion sont de l'eau et de l'acide carbonique. Quand le gaz hydrogène proto-carboné est mêlé à l'air, dans une proportion variable, depuis 1/30 jusqu'à 1/15 du volume total, la flamme d'une chandelle ou d'une lampe plongée dans le mélange s'allonge et s'élargit, d'autant plus que la proportion de gaz inflammable s'approche plus de la limite supérieure, 1/15 du volume. La flamme de la mèche paraît environnée d'une auréole d'un bleu pâle, qui est sensible surtout vers la pointe. La combustion n'a lieu d'ailleurs qu'aux environs de la mèche en ignition, et ne s'étend point à la masse gazeuse ambiante.

Lorsque l'hydrogène proto-carboné forme 1/14 du volume total, l'inflammation se propage dans toute la masse gazeuse, mais sans forte détonation. La rapidité de l'inflammation croit ensuite avec la proportion de gaz inflammable, jusqu'à ce qu'elle soit 1/9 ou 1/8 du

volume total Dans ces dernières proportions, le mélange est explosif au plus haut degré. Si la proportion d'hydrogène proto-carboné augmente encore, le mélange devient de moins en moins explosif. Il ne s'enflamme plus, et la lampe s'éteint au contraire, dès qu'il renferme plus du tiers de son volume de gaz.

Le contact du fer ou d'un charbon rouge ne suffit pas pour déterminer l'inflammation de l'hydrogène proto-carboné mêlé à l'air; il faut la présence d'un corps enflammé. De l'azote ou du gaz acide carbonique ajoutés, même en assez faible proportion, à un mélange explosif d'air et d'hydrogène proto-carboné, affaiblissent ou même préviennent la détonation; 1/7 d'acide carbonique, ajouté au mélange le plus explosif, suffit pour la prévenir.

L'hydrogène proto-carboné, mêlé à l'air atmosphérique, peut être respiré sans danger toutes les fois qu'il ne constitue pas plus du tiers du volume total; passé ce terme, il y aurait asphyxie par insuffisance d'oxygène.

L'hydrogène proto-carboné n'est point soluble dans l'eau, n'est point absorbé par les alcalis, et n'est pas non plus décomposé par le chlore gazeux, si ce n'est sous la double influence de la lumière et de l'humidité, circonstances qui ne se trouvent pas réunies dans les mines. Des boules composées d'argile et d'éponge de platine, mêlés ensemble dans des proportions convenables (une partie de platine et deux d'argile), jouissent de la propriété de déterminer la combinaison lente et sans flamme, de l'oxygène et de l'hydrogène. Il est vraisemblable que, convenablement préparées, les boules de platine détermineraient également la combustion lente et sans flamme de l'hydrogène proto-carboné mêlé à l'air atmosphérique. Le docteur Aloys Wehrle a proposé d'en faire usage pour détruire le gaz inflammable dans les mines où il existe (*Die Gruben Wetter*, von doctor Aloys Wehrle. — Vienne, 1855, p. 66). Nous ne croyons pas à l'efficacité de ce moyen, et nous donnerons plus loin les motifs de notre opinion.

L'hydrogène proto-carboné est assez abondant dans la nature; il se dégage de la vase des marais et de toutes les eaux stagnantes. Dans quelques localités, il s'écoule par les fissures naturelles du sol et donne lieu aux feux naturels qui existent dans plusieurs endroits. Les forages exécutés pour l'exploitation par dissolution du sel gemme, ont amené quelquefois des jets naturels et abondants de ce gaz. Il paraît qu'on utilise, en Chine, la chaleur développée par la combustion de semblables jets pour l'évaporation des eaux salées. On cite aussi quelques exemples de sa présence dans des mines de sel gemme,

exploitées par galeries souterraines. Mais c'est principalement dans les mines de houille qu'il se développe; il est désigné par les mineurs sous le nom de *grisou*, ou d'air inflammable. Il s'échappe des cellules de la houille exploitée avec un léger bruit analogue à celui que produit l'eau échauffée dans les instants qui précèdent l'ébullition tumultueuse; on le rencontre le plus ordinairement dans les couches de houille grasse; néanmoins il y en a aussi quelquefois dans des mines de houille maigre, et il s'en faut de beaucoup que toutes les houilles grasses en laissent dégager. Il arrive fréquemment que, dans une même couche, certaines parties donnent du gaz inflammable, tandis que d'autres en sont exemptes, et l'on a observé, dans plusieurs localités, qu'une faille ou un étranglement séparait la partie de la couche où ce gaz se dégageait, de la partie qui en était exempte. Dans les formations qui renferment des couches de houille à *grisou*, ce gaz s'écoule par les fissures des bancs de grès ou de schistes intermédiaires entre les couches : tantôt il sort en jets animés d'une vitesse plus ou moins grande, auxquels on donne le nom de soufflards, par des fentes que l'on rencontre dans les bancs de grès dur. D'autres fois, il s'échappe par les intervalles compris entre les feuillets multipliés d'un banc de schiste, avec le même bruit qui accompagne son dégagement des cellules mêmes de la houille. On a reconnu qu'il se dégage, en général, en plus grande abondance dans les endroits qui avoisinent les failles, amincissements et autres accidents auxquels les couches de houille sont sujettes et près desquels la nature de la houille est altérée. Il y a aussi, dans l'intérieur des couches, des cavités où ce gaz est renfermé sous des pressions très-considérables, et d'où il fait subitement irruption lorsque la suite de l'exploitation a suffisamment affaibli l'une des parois. C'est surtout dans les mines de houille du nord de l'Angleterre que l'on a bien constaté des accidents de ce genre, qui, trop souvent, ont été funestes aux ouvriers mineurs.

Le dégagement de l'hydrogène carboné peut avoir lieu sous des pressions considérables, en traversant, par exemple, des masses d'eau qui remplissent les galeries sur une hauteur verticale de 10 à 15 mètres. Ainsi, il ne faudrait pas croire que l'inondation des galeries d'une mine de houille à grisou arrêtât nécessairement l'écoulement du gaz.

Les variations de la pression atmosphérique qui s'exerce sur les fronts de tailles ou sur les fissures de la roche ont une influence marquée sur l'abondance du gaz inflammable qui se dégage.

En vertu de sa moindre pesanteur spécifique, le gaz hydrogène

proto-carboné tend à occuper les parties les plus élevées des excavations dans lesquelles il se trouve, et malgré la propriété de diffusion qui lui est commune avec tous les fluides aériformes, il est toujours plus concentré dans ces parties élevées, surtout lorsqu'elles sont en dehors du courant d'air qui circule dans les travaux. Par la même raison, il s'écoule avec facilité au dehors par des puits verticaux ou des galeries inclinées et ascendantes, aboutissant au jour.

On le rencontre dans les vieux travaux et les excavations non aérées creusées dans les terrains où il existe des couches de houille qui le produisent. Il y est fréquemment mêlé avec une quantité suffisante d'air atmosphérique pour former un mélange explosif. Il est donc très-dangereux de pénétrer dans ces excavations, et on ne doit le faire qu'en usant des précautions convenables qui seront indiquées plus loin.

Hydrogène deuto-carboné ou gaz oléfiant. — Ce gaz est composé de :

Hydrogène.	14,98
Carbone.	85,02

Sa pesanteur spécifique est de 0,98.

Il brûle avec une flamme rouge, et dont le pouvoir éclairant est beaucoup plus grand que celui de l'hydrogène proto-carboné. C'est principalement ce gaz qui est produit par la houille distillée pour l'éclairage : il est plus inflammable que le gaz hydrogène proto-carboné.

Le chlore gazeux le décompose, et le mélange de ces deux corps donne lieu à des réactions diverses, suivant qu'on l'opère dans l'obscurité, à la température ordinaire, ou qu'il est exposé à la chaleur ou à l'action directe de la lumière du soleil.

Il résulte des analyses de M. Bischoff, professeur de l'Université de Bonn, qu'il est mélangé avec l'hydrogène proto-carboné dans plusieurs mines de houille, ce qui a conduit ce chimiste à admettre que les gaz inflammables ou *grisous* des mines de houille étaient des mélanges en proportions différentes suivant les localités, d'hydrogène proto-carboné, d'hydrogène deuto-carboné, et d'autres gaz en petite quantité qui seraient de l'air atmosphérique, de l'azote ou de l'acide carbonique. Cependant les chimistes anglais, et notamment en dernier lieu M. Turner, ont trouvé les gaz inflammables recueillis dans un grand nombre de houillères de l'Angleterre, uniquement composés d'hydrogène proto-carboné mélangé accidentellement avec un

peu d'air atmosphérique et d'acide carbonique. M. Bischoff lui-même n'a trouvé dans les gaz provenant des mines de Gerhard et de Wellesweiler, dans le bassin houiller de Saarbrücken, que des quantités de gaz hydrogène deuto-carboné assez petites pour qu'il soit permis d'attribuer les résultats aux erreurs de l'analyse. Il n'en a pas été de même pour le gaz inflammable provenant d'un puits foré dans la principauté de Schaumbourg, dans un terrain calcaire, de la formation du lias, renfermant une couche de houille. Ici l'absorption par le chlore gazeux mêlé au gaz dans un flacon d'yalite opaque a été considérable, et l'analyse eudiométrique n'a pas indiqué moins de 16 pour 100 en volume d'hydrogène deuto-carboné, contre 79 d'hydrogène proto-carboné, et 4,79 d'autres gaz. En outre, des toiles métalliques capables d'arrêter la communication de la flamme des gaz recueillis dans les mines du bassin de Saarbrücken, n'étaient point assez serrées pour arrêter la flamme du gaz recueilli dans le puits foré de la principauté de Schaumbourg, et les mineurs de cette dernière localité devaient faire usage de lampes de sûreté à treillis beaucoup plus serrés que ceux dont on se sert pour les lampes de sûreté usitées dans les mines de houille ordinaires.

Ainsi, jusqu'à présent, les gaz inflammables recueillis dans les terrains houillers proprement dits, ne contiennent point, ou du moins renferment fort peu d'hydrogène deuto-carboné, et sont composés de gaz des marais avec un peu d'air, d'azote et d'acide carbonique. Le seul gaz inflammable provenant d'un autre terrain que le terrain houiller, qui ait été analysé, contenait au contraire une quantité de gaz hydrogène deuto-carboné assez considérable pour modifier ses propriétés et le rendre beaucoup plus inflammable. Il serait donc à désirer que l'on analysât les gaz inflammables provenant des divers terrains, notamment ceux qui se rencontrent assez souvent dans le voisinage des gîtes salifères, et ceux qui accompagnent les gîtes de naphte.

Hydrogène.— Quelques personnes pensent que l'hydrogène proto-carboné des mines de houille peut être mêlé à de l'hydrogène pur. Néanmoins le fait n'est rien moins que certain, et n'a été constaté par aucune analyse chimique. D'un autre côté, la décomposition des substances animales ou végétales, sous l'influence de l'humidité et de l'air atmosphérique, ne fournit point ce gaz; sa présence dans les mines est donc peu vraisemblable. Elle donnerait lieu à des dangers très-graves, parce qu'elle rendrait beaucoup plus inflammables les mélanges d'air et d'hydrogène carboné qui en renfermeraient même une très-petite quantité.

La pesanteur spécifique de l'hydrogène est de 0,0688.

Hydrogène sulfuré.— Ce gaz est caractérisé par une odeur infecte d'œufs pourris.

Sa pesanteur spécifique est de 1,1912.

Il est soluble dans l'eau, qui en prend près de trois fois son volume. Les solutions alcalines l'absorbent rapidement. Le chlore le décompose en s'emparant de l'hydrogène, et il se forme un dépôt de soufre. Mêlé à l'air, il prend feu par l'approche d'un corps enflammé. Les produits de la combustion sont de l'eau et de l'acide sulfureux. Disséminé, même en très-petite quantité, dans un mélange gazeux, il noircit les oxydes blancs de plomb et de bismuth, ce qui fournit un moyen facile de constater son existence. Il suffit d'exposer au mélange dans lequel il est contenu, des bandes de papier que l'on a blanchies en les plongeant dans une solution d'acétate de plomb, et que l'on a ensuite laissées sécher.

Il exerce sur l'économie animale une influence délétère au plus haut degré. Un oiseau périt dans un air qui en contient 1/1500 de son volume; 1/800 suffit pour tuer un chien de moyenne taille, et un cheval finit par succomber dans un air qui en contient 1/250.

Ce gaz se forme toutes les fois que le soufre très-divisé est en contact avec l'hydrogène à l'état de gaz naissant. Ainsi il peut se former dans les mines où il y a décomposition de pyrites de fer. On le trouve dans les vases des égouts, dans les fosses d'aisance. Il peut se développer par la décomposition des matières animales. Enfin plusieurs sources minérales en contiennent, et par conséquent il est possible qu'il s'en dégage quelquefois par les fissures de la roche.

Acide sulfureux et Oxide de carbone. — Ces gaz ne se forment guère qu'à la suite de la déflagration de la poudre de mine, ou de la combustion vive de la houille et des boisages, dans les mines de houille en feu.

Le premier se dégage naturellement dans le voisinage des volcans brûlants; il serait donc possible qu'il infestât des galeries de mine, exploitées dans de semblables localités. Il est soluble dans l'eau, et absorbé rapidement par les dissolutions alcalines, comme tous les gaz acides. Il est caractérisé par une odeur très-âcre, connue de tout le monde. Sa pesanteur spécifique est de 2,1204.

Le second, au contact de l'air, prend feu à l'approche d'un corps en ignition, et brûle avec une flamme bleue, en se transformant en acide carbonique. Sa pesanteur spécifique est de 0,957.

D'après les travaux récents de M. Leblanc, l'oxyde de carbone

exerce sur l'économie animale une action encore plus délétère que celle de l'acide carbonique.

Vapeurs mercurielles et arsenicales.— Les ouvriers occupés dans les mines de mercure riches, telles que celles d'Idria en Carniole, d'Almaden dans la province de la Manche en Espagne, subissent l'action des vapeurs mercurielles qui sont répandues dans l'atmosphère des galeries souterraines. La présence de ces vapeurs est rendue manifeste, par l'action qu'elles exercent sur les feuilles d'or minces, qui blanchissent à l'air de la mine. Il paraît que la ventilation la plus active ne saurait assainir complétement ces mines. C'est pourquoi il convient que les ouvriers n'y soient point occupés toute l'année, et n'y travaillent que d'une manière intermittente.

L'odeur d'arsenic qui se développe dans les mines où l'on exploite des arséniures, et surtout de l'arsenic natif, ne paraît pas nuire à la santé des ouvriers, quand ces mines sont fortement aérées.

Miasmes. — Ce sont des émanations produites par les hommes et les animaux, en santé ou malades, principalement dans ce dernier état, et par toutes les substances végétales ou animales en décomposition (y compris peut-être beaucoup de combustibles minéraux). Insaisissables à l'analyse chimique, ils exhalent ordinairement une odeur infecte, et exercent sur l'économie animale une influence extrêmement pernicieuse. Le chlore gazeux neutralise les miasmes des hôpitaux; mais il est fort douteux que son action fût également efficace dans des lieux infectés au plus haut degré, comme le sont certaines excavations souterraines.

Moyens simples de s'assurer si l'air des excavations est irrespirable, ou explosif.—Avant de pénétrer dans des excavations quelconques, non fréquentées, comme d'anciens puits ou galeries de mines abândonnées, des grottes naturelles, des égouts, des fosses d'aisance, etc., il faut préalablement s'assurer si elles contiennent de l'air respirable : dans certains cas, on doit aussi vérifier si cet air n'est point explosif.

1° Lorsqu'on est certain d'avance que l'air qui remplit l'excavation ne contient point de gaz inflammable, on y descendra d'abord une chandelle, ou une lampe allumée; partout où celle-ci continuera de brûler, on sera sûr que l'air n'est point chargé d'acide carbonique, ni d'un assez grand excès d'azote, pour qu'il soit irrespirable. S'il y a, dans cet air, de l'hydrogène sulfuré en quantité capable de nuire, ce gaz sera sensible à l'odorat, et mieux encore aux bandes de papier blanchies par l'acétate de plomb. Des miasmes irrespirables, et susceptibles de déterminer une asphyxie rapide, seraient aussi ca-

ractérisés par une odeur infecte. En conséquence on pourra pénétrer sans danger dans une excavation non fréquentée, toutes les fois que l'air sera sans odeur désagréable, qu'il ne noircira pas l'acétate de plomb, et qu'une lampe ou une chandelle y brûleront facilement.

Si les lumières s'éteignent, l'air contiendra de l'acide carbonique ou un grand excès d'azote, et le plus ordinairement un mélange de ces deux gaz.

Si, en même temps, il y a mauvaise odeur, ou si le papier blanchi par l'acétate de plomb est noirci, il serait extrêmement dangereux de pénétrer dans l'excavation avant d'avoir renouvelé l'air qu'elle renferme, ou sans se servir de l'un des appareils respiratoires qui seront mentionnés plus loin.

2° Dans le cas où l'on aurait des motifs de soupçonner la présence de l'hydrogène carboné, il faudrait se servir, au lieu d'une chandelle, ou d'une lampe ordinaire à feu découvert, de la lampe de sûreté de Davy. Si l'air contient en effet du gaz inflammable, dans la proportion de 1/30 à 1/15, la flamme de la lampe augmentera en longueur et en grosseur : en enfonçant la mèche dans le réservoir, de manière à diminuer beaucoup la hauteur de la flamme, on verra celle-ci environnée, vers la pointe, d'une flamme d'un bleu pâle.

Si le gaz inflammable entre dans la proportion d'un douzième, le cylindre en gaze métallique se remplira d'une flamme bleue au milieu de laquelle on distinguera encore la flamme de la mèche.

Si ce gaz entre pour une proportion plus forte dans le mélange, et forme jusqu'au cinquième ou au sixième du volume total, le cylindre se remplit d'une flamme éclatante, au milieu de laquelle la flamme de la mèche disparaît, et le treillis rougit rapidement. Si le gaz forme le tiers du volume total, la lampe s'éteint. Partout où la lampe de sûreté continue à brûler, l'air est respirable sans danger, à moins qu'il ne contienne des miasmes. Mais il est dangereux de séjourner dans des lieux où le cylindre se remplit de flammes, parce que l'agitation fortuite de l'air qui entoure la lampe, par suite de la chute d'une pierre, d'un mouvement brusque de l'ouvrier, ou par toute autre cause, peut suffire pour faire passer la flamme à travers la gaze métallique. Il est donc prudent de se retirer lentement, en mettant la lampe sous son habit ou dans un chapeau, afin de l'abriter des courants d'air. Là où la lampe s'éteint, il peut y avoir danger d'asphyxie.

L'on doit présumer la présence du gaz inflammable, dans toutes les excavations non fréquentées, qui sont en communication, soit par des galeries, soit par les fissures du terrain, avec des couches de

houille qui le produisent, quand bien même ces communications seraient remplies d'eau, parce que le dégagement peut avoir lieu sous des pressions considérables. Il résulte de là que l'on doit regarder comme suspectes toutes les excavations situées dans le voisinage des couches de houille à grisou, même lorsqu'il n'existe pas de galeries entre ces excavations et les couches, les fissures naturelles du terrain pouvant suffire pour y amener le gaz.

Insuffisance des agents chimiques pour détruire les gaz méphitiques dans les mines. — Lorsque l'air d'une excavation est impropre à l'entretien de la combustion, ou lorsqu'il contient une assez forte proportion de gaz inflammable pour que le cylindre en gaze métallique de la lampe de sûreté se remplisse de flamme, il y a toujours danger imminent à y pénétrer et à y séjourner quelque temps. L'emploi des agents chimiques, pour absorber ou dénaturer les gaz nuisibles, est tout à fait insuffisant, soit parce que l'on ne peut établir un contact assez intime entre l'agent chimique employé et les gaz sur lesquels il devrait agir, soit parce que les gaz nuisibles se reproduisent rapidement par suite des mêmes causes qui ont contribué à les former d'abord. Ainsi, par exemple, si l'on jette un lait de chaux ou des dissolutions d'alcali caustique dans des lieux infestés d'acide carbonique ou d'un autre gaz acide, l'action de l'alcali est purement locale, et ne saurait purger l'air dans toute l'étendue de l'excavation. Ce moyen même est inefficace (nous en avons fait l'épreuve) pour des bouts de galeries fort étroites qui reçoivent de l'acide carbonique par les fissures du terrain.

Dans les mines infestées de grisou, il était assez ordinaire, autrefois, de mettre le feu au gaz accumulé dans certaines parties de la mine, afin de s'en débarrasser. Cette méthode était dangereuse pour les ouvriers chargés de mettre le feu et pour les mines elles-mêmes qui pouvaient être incendiées. Elle avait en outre l'inconvénient de remplacer le gaz inflammable brûlé par de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, en faisant disparaître deux volumes d'oxygène pour un volume de gaz brûlé, de sorte qu'elle viciait l'air d'une autre manière. Elle est proscrite aujourd'hui avec beaucoup de raison.

Enfin, il serait de la dernière imprudence de compter, pour neutraliser l'action délétère de l'hydrogène sulfuré et des miasmes, sur l'action du chlore gazeux, comme on l'emploie dans les salles d'hôpitaux, parce qu'il y a lieu de craindre que les miasmes et l'hydrogène sulfuré ne soient répandus ici en beaucoup plus grande quantité.

Nécessité d'un aérage actif et continu. — On ne peut assainir les

mines et toutes les excavations souterraines, qu'en délayant les gaz nuisibles dans une masse d'air atmosphérique suffisante pour les rendre inoffensifs. Or, comme ces gaz se développent d'une manière continue, il est évident qu'on ne saurait atteindre le but qu'en renouvelant aussi, d'une manière continue, l'air dans toutes les parties des excavations, c'est-à-dire en y déterminant un courant d'air incessant venant du jour, et retournant dans l'atmosphère par une autre issue qui entraîne au dehors les gaz qu'il aura rencontrés et délayés sur son passage. On dit d'une mine qu'elle est bien aérée lorsqu'elle est assainie par un semblable renouvellement d'air.

Pour que l'air soit salubre et sans influence nuisible sur la santé des ouvriers qui le respirent tous les jours, pendant huit, dix ou même douze heures, il ne suffit pas qu'il soit propre à l'entretien de la combustion et qu'il ne soit pas explosif; le danger peut exister sans être imminent. C'est ainsi que, dans les mines mal aérées, les ouvriers sont attaqués, au bout de quelque temps, d'une maladie particulière à laquelle on donne le nom d'anémie. La pâleur de la face, une débilité croissante en sont les symptômes. La guérison en est longue, difficile, peut-être même devient incertaine, lorsqu'elle a fait des progrès considérables. On ignore si certains gaz, par exemple des traces d'hydrogène sulfuré, des miasmes, ne sont pas les causes principales qui la déterminent; mais, en tous cas, l'activité de la ventilation est l'unique moyen d'assainir les ateliers souterrains où elle se développe.

Il y a des circonstances dans lesquelles il est urgent de pénétrer dans des excavations remplies d'un air infect ou explosif avant qu'on ait pu le renouveler, par exemple, lorsqu'il s'agit de retirer des hommes blessés ou asphyxiés, de sauver la mine d'un péril imminent par l'exécution de certains travaux. Nous indiquerons dans le dernier chapitre les précautions à prendre et les appareils à employer dans ces cas purement exceptionnels. Auparavant nous devons faire connaître les moyens d'assurer la salubrité constante de l'air des mines par un renouvellement d'air suffisant dans toutes leurs parties.

Propriétés générales des fluides aériformes et lois du mouvement. — Les fluides aériformes exercent sur les parois des vases qui les contiennent, et sur la surface de tous les corps plongés dans leur intérieur, une pression que l'on mesure au moyen du baromètre. Cet instrument fait connaître la hauteur verticale de la colonne de mercure qui peut être soutenue par cette pression.

Par exemple, si la hauteur du mercure, dans le baromètre, est de 75 centimètres, la température du mercure étant de 0 degré centi-

grade, on saura que la pression du fluide aériforme qui est en contact avec la surface libre du mercure, soutient une colonne de mercure de 75 centimètres de hauteur. Or, le poids du mètre cube de mercure, à la température de 0 degré, est de 13.598 kilogrammes. Un prisme de mercure qui aurait pour base un mètre carré et 75 centimètres de hauteur, pèserait en conséquence $13.598 \times 0,75 = 10.198^{\text{kil.}}50$. Ainsi, l'indication barométrique nous montre, dans ce cas, que la pression que le fluide exerce sur une surface d'un mètre carré est de $10.198^{\text{kil.}},50$.

On appelle *tension* ou *pression* d'un fluide aériforme la pression, exprimée en unités de poids, que ce fluide exerce sur l'unité superficielle. L'exemple précédent montre comment on conclut la pression ainsi définie de l'observation barométrique.

Le poids spécifique ou le poids du mètre cube de mercure varie avec la température. Ainsi, pour déduire d'une observation barométrique la valeur exacte de la pression, il faut tenir compte de la température du mercure, qui est ordinairement donnée par un thermomètre, fixé sur la même monture que le tube barométrique. Les physiciens ayant constaté que le mercure se dilate, pour une élévation de température de 1 degré centigrade, de 1/5550 de son volume à 0 degré, il s'ensuit qu'à une température de t degrés, le poids du mètre cube de mercure est moindre qu'à 0 degré dans le rapport de 1 à $1 \times \frac{t}{5550}$. Ce poids est donc exprimé en kilogrammes par :

$$\frac{13598}{1+\frac{t}{5550}} = \frac{13598 \times 5550}{5550+t}.$$

Lorsque l'on veut déterminer la pression d'un fluide contenu dans un réservoir, on emploie ordinairement un manomètre. Cet instrument consiste en un tube recourbé à trois branches (*Pl. XXIII*, *fig.* 1), ouvert à ses deux extrémités. Dans le coude inférieur c du siphon formé par les deux branches mc, nc, on place un liquide, du mercure, de l'eau ou de l'alcool. L'extrémité de la branche mp du tube est insérée dans le vase par une ouverture ménagée dans la paroi AB, de sorte que le liquide remplissant le coude c est pressé sur sa surface a par le fluide contenu dans le vase, et sur sa surface b par par l'atmosphère. La différence des hauteurs verticales du liquide manométrique dans les deux branches mc et nc mesurera la différence des pressions du fluide contenu dans le réservoir et de l'atmosphère;

comme d'ailleurs la pression atmosphérique pourra être mesurée par le baromètre, on connaîtra aussi la pression absolue du fluide dans le réservoir.

Si le liquide manométrique est du mercure, et si h exprime, en mètres, la différence du niveau dans les deux branches mo et nc, t étant la température du mercure en degrés centigrades,

$$P = h \times \frac{13598 \times 5550}{5550 + t}$$

sera l'excès de la pression du fluide du réservoir sur l'air atmosphérique, ou de la pression atmosphérique sur celle du fluide, suivant que le mercure se tiendra plus élevé dans la branche ouverte à l'air libre nc, ou dans l'autre.

On emploie souvent l'eau ou l'alcool comme liquides manométriques au lieu de mercure, afin que les différences de pression soient rendues plus sensibles; alors il est nécessaire, pour la précision des observations, de faire usage d'eau distillée, ou d'alcool absolu, pour que la pesanteur spécifique du liquide manométrique soit exactement connue. Il y a même toujours une légère incertitude qui tient à ce que la loi de la dilatation de ces liquides n'est pas régulière et connue, comme celle du mercure, de sorte que la correction de température ne peut être faite avec autant d'exactitude.

Si le liquide manométrique est de l'eau distillée, on devra prendre 1000 kilogrammes pour le poids du mètre cube d'eau à la température de 4 degrés centigrades, correspondante au maximum de densité de l'eau; h désignant la différence des niveaux du liquide manométrique à cette température, la différence correspondante des pressions serait exprimée par $h \times 1000$ kilogrammes.

Si la température de l'eau distillée était de 10 degrés centigrades, le poids du mètre cube serait seulement de 999 kilog.,89; à la température de 20 degrés centigrades, le poids du mètre cube serait de 998 kilog.,56; à la température de 30 degrés, le poids du mètre cube serait de 996 kilog.,10.

Les observations manométriques ordinaires ayant lieu dans les limites des températures précédentes, on pourra calculer, par interpolation, le poids spécifique de l'eau correspondant à la température observée, en admettant que l'eau se dilate uniformément de 4 degrés à 10, de 10 à 20, et de 20 à 30. Ainsi, par exemple, on calculera le poids spécifique de l'eau à 17 degrés, en retranchant du nombre 999 kil.,89, qui exprime le poids spécifique à 10 degrés, les 7/10 de la

différence entre ce dernier nombre, et 998kil.,56, qui est le poids spécifique de l'eau à 20 degrés. On trouvera ainsi, pour le poids spécifique cherché, 998kil.,96.

Si l'on emploie comme liquide manométrique de l'alcool rectifié, le poids du mètre cube de ce liquide, à la température de 17 ou 20 degrés centigrades, est de 792 kilogrammes, et l'on peut admettre que sa dilatation est de 1/900 de son volume pour chaque degré du thermomètre centigrade. D'après cela, le poids spécifique de l'alcool à une température de t degrés sera égal à :

$$\frac{792}{1+\frac{t-20}{900}}=\frac{712800}{880+t}\text{ kilogr.}$$

Le poids spécifique des liquides dépend uniquement de leur température ; celui des fluides aériformes dépend à la fois de la température et de la pression. Lorsque la température d'un fluide aériforme demeure invariable, son poids spécifique varie proportionnellement à la pression, quelle que soit la température constante. Cette loi s'appelle loi de Mariotte, du nom du physicien qui l'a démontrée par l'expérience.

D'un autre côté, M. Gay-Lussac a fait voir que, sous une pression constante, tous les fluides aériformes se dilatent uniformément avec la température, et que l'augmentation de volume est, pour chaque degré du thermomètre centigrade à mercure, égale aux 0,00375 du volume à 0 degré (1).

La loi de Mariotte, et la loi de dilatation de M. Gay-Lussac, suffi-

---

(1) Les expériences de M. Regnault ont fait voir que le coefficient de dilatation n'était pas invariable pour les différents gaz, et que, pour un même gaz, il n'était pas absolument indépendant de la température et de la pression. M. Regnault a trouvé que, pour l'air atmosphérique pris à des températures comprises entre 0 et 100°, et sous des pressions peu éloignées de 0m,76 de mercure, la valeur de ce coefficient était, à très-peu près, 0,00364, au lieu de 0,00375, chiffre donné par M. Gay-Lussac. Comme les différences signalées entre les valeurs diverses du coefficient de dilatation sont sans importance dans les calculs que l'on peut faire sur le mouvement de l'air dans les tuyaux de conduite ou les galeries de mines, nous avons cru pouvoir nous dispenser de substituer ici au chiffre 0,00375 la valeur plus exacte déterminée par M. Regnault.

sent pour déterminer le poids spécifique d'un gaz sous une pression et à une température donnée, lorsque l'on connaît le poids spécifique du même gaz sous une certaine pression et à la température de 0 degré. L'on sait que le poids du mètre cube d'air atmosphérique sec, à la température de 0 degré, et sous une pression mesurée par une colonne de mercure de $0^{m},76$ de hauteur, est égal à $1^{kil.},2987$. Si l'on appelle q le poids du mètre cube d'air, à la température de t degrés, et sous une pression mesurée par une colonne de mercure d'une hauteur h à 0 degré, on aura :

$$q = \frac{1,2987 \times \frac{h}{0,76}}{1 + 0,00375\,t} = \frac{1,7088 \times h}{1 + 0,00375\,t} \text{ kilogr.}$$

Pour un autre gaz que l'air, on obtiendra le poids spécifique à la température t, et sous une pression h en colonne de mercure à 0 degré, en multipliant l'expression précédente de q par le nombre qui exprime la pesanteur spécifique du gaz, par rapport à celle de l'air prise pour unité. Nous avons donné précédemment ces nombres pour les différents gaz que l'on rencontre dans les mines. Par exemple, le poids du mètre cube d'hydrogène proto-carboné sera exprimé par :

$$0,555 \times \frac{1,7088 \times h}{1 \times 0,00375\,t}.$$

Lorsque plusieurs liquides de densités différentes sont contenus dans un même vase, on sait qu'en général ils ne se mêlent point, mais se superposent par ordre de densités, de façon que le plus dense occupe la partie inférieure, et que les surfaces de séparation des différents liquides soient des plans horizontaux, ou plutôt des surfaces normales à la direction de la pesanteur. C'est ainsi que si l'on met dans un même vase du mercure, de l'eau et de l'huile, le mercure occupera le fond du vase, l'huile la partie supérieure, et l'eau la partie intermédiaire. Cependant beaucoup de liquides, de densités diverses, se mêlent uniformément de manière à ne former qu'une masse homogène sans qu'il y ait combinaison chimique, puisque le mélange uniforme a lieu, quelles que soient les proportions respectives des liquides. Tels sont l'eau et l'alcool, et beaucoup d'autres.

Lorsque plusieurs fluides aériformes de densités différentes sont contenus dans un même vase, ou même dans des vases qui communiquent par de simples ouvertures très-étroites, ces gaz, dans les

premiers instants, tendent à se disposer par ordre de densité; mais au bout d'un temps plus ou moins long, ils forment sans aucune exception un mélange parfaitement uniforme. Ainsi, si l'on remplit un vase à long col de gaz acide carbonique, et un autre de gaz hydrogène, que l'on renverse le second sur le premier, les gaz ne conserveront pas leur position, mais ils seront mélangés uniformément, au bout d'un certain temps, malgré leur grande différence de densité. Ainsi, la vapeur d'eau et l'air atmosphérique forment un mélange parfaitement uniforme, lorsque ces deux fluides existent ensemble, dans un espace libre ou fermé.

Le poids spécifique d'un mélange gazeux est facile à déterminer, quand on connaît les poids spécifiques de chacun des gaz isolés, et les proportions en volume, pour lesquelles ils entrent dans le mélange. Supposons, par exemple, que dans un mélange d'air atmosphérique, d'azote et de gaz acide carbonique, les proportions en volume soient les suivantes :

$\frac{70}{100}$ d'air atmosphérique,

$\frac{20}{100}$ d'azote,

$\frac{10}{100}$ de gaz acide carbonique.

Soient, en même temps, h la pression en colonne de mercure réduite à 0 degré, et t la température du mélange. Dans ces circonstances, le poids spécifique de l'air seul serait égal à :

$$\frac{1,7088 \times h_1}{1 \times 0,00375\, t_1},$$

le poids spécifique de l'azote à :

$$0,976\ \frac{1,7088 \times h}{1 \times 0,00375\, t},$$

le poids spécifique de l'acide carbonique à :

$$1,524 \times \frac{1,7088\, h}{1 + 0,00375\, t}.$$

Puisque les gaz, en se mêlant, n'ont éprouvé aucune condensation ou dilatation, le poids spécifique du mélange s'obtiendra en ajoutant

ensemble les poids spécifiques de chacun des gaz, respectivement multipliés par les fractions qui expriment leurs proportions relatives. Ce poids sera donc égal à :

$$\left(\frac{70}{100} + 0{,}976 \times \frac{20}{100} + 1{,}524 \times \frac{10}{100}\right) \frac{1{,}7088\, h}{1 + 0{,}00375\, t}.$$

Un mélange semblable, sous le rapport des propriétés *physiques*, se comporte tout à fait comme un gaz unique de même poids spécifique.

Imaginons que le mélange gazeux précédent étant contenu dans un espace fermé, on vienne à soustraire l'azote et le gaz acide carbonique, et qu'on ne laisse que l'air atmosphérique, qui occupera, à lui seul, la totalité de l'espace. Il est évident que, par suite de la soustraction de l'azote et de l'acide carbonique, qui formaient ensemble les 30/100 du volume total, l'air atmosphérique aura diminué de densité dans le rapport de 100 à 70. Sa pression aura donc dû diminuer dans le même rapport, et par conséquent sera devenue égale à : $\frac{70}{100} h$.

De même, si on eût soustrait l'air atmosphérique et l'acide carbonique, l'azote remplissant à lui seul la totalité de l'espace, aurait diminué de densité dans le rapport de 100 à 20, et par conséquent sa pression serait devenue égale à : $\frac{20}{100} h$.

Enfin, si, par la soustraction de l'air et de l'azote, on eût laissé le gaz acide carbonique s'étendre seul dans l'espace total, la pression de ce gaz fût devenue égale à : $\frac{10}{100} h$.

Or, la somme des pressions précédentes de l'air, de l'azote et de l'acide carbonique supposés exister isolément dans l'espace, est égale, comme on voit, à la pression totale h du mélange, d'où l'on tire la conclusion suivante : lorsque plusieurs gaz occupant des volumes égaux, sous des pressions diverses, sont réunis dans un espace égal au volume de chacun d'eux pris isolément, la pression du mélange est égale à la somme des pressions des gaz mélangés ; ou, en d'autres termes, dans un mélange de gaz, les rapports de pression, de chacun des gaz supposé remplir à lui seul l'espace total occupé par le mélange, sont les mêmes que les rapports des volumes des gaz mélangés, mesurés sous une même pression.

La quantité pondérale de vapeur d'eau, qui peut exister dans un espace limité, vide, ou occupé par de l'air ou tout autre gaz, ne

peut dépasser une certaine limite, qui dépend uniquement de la température, et que l'on a déterminée par l'expérience. Lorsque cette limite est atteinte, on dit que l'espace est saturé de vapeur, à la température existante. On a déterminé par l'expérience la pression de la vapeur d'eau, saturant un espace, c'est-à-dire à son *maximum* de densité, pour les diverses températures. Si l'on appelle t la température, y la pression en centimètres de mercure de la vapeur saturant l'espace à cette température, les résultats des expériences sont représentés, à un assez grand degré d'approximation, par la formule empirique suivante, due à Tredgold :

$$(1) \qquad \log. y = 6 \times \log. (t+75) - 13{,}57652. \qquad (a)$$

Il est facile de calculer le poids spécifique de l'air, ou de tout autre gaz saturé de vapeur, lorsqu'on connaît la pression et la température. En effet, la vapeur et le gaz se mêlant uniformément, leurs pressions s'ajoutent, comme il a été expliqué dans le paragraphe précédent. Si donc h exprime la pression du gaz saturé de vapeur, en centimètres de mercure, et t la température, on commencera d'abord par calculer, au moyen de la formule (a), ou mieux encore de celle de M. Biot, la pression de la vapeur d'eau prise isolément. Si h' désigne la valeur de y fournie par l'équation (a), dans laquelle on aura remplacé t par la valeur donnée, $h - h'$ sera la pression du gaz seul, mélangé à la vapeur. Les proportions, en volumes, de ce gaz et de

---

(1) M. Biot, dans la *Connaissance des Temps pour* 1839, a donné la formule suivante, qui fournit, avec une exactitude égale à celle des observations mêmes, les pressions de la vapeur au maximum de densité, correspondantes aux diverses températures, depuis 20° au dessous de zéro, jusqu'à 220° au dessus : $\log. p = a - a_1\alpha_1{}^{20+t} - a_2\alpha_2{}^{20+t}$. Dans cette formule, t exprime la température en degrés du thermomètre à air, et p la pression en millimètres de mercure à 0° ; $a, a_1, a_2, \alpha_1, \alpha_2$, sont des coefficients numériques, dont les valeurs sont données comme il suit :

$$a = 5.96131330259$$

$$\log. a_1 = \overline{1}.82340688193 \qquad \log. a_2 = 0.74110951837$$

$$\log. \alpha_1 = -0.01309734295 \qquad \log. \alpha_2 = -0.00212510583$$

De 0 à 100°, l'on pourra prendre pour t la température donnée par le thermomètre à mercure, qui, entre ces limites, ne diffère pas de celle qui serait accusée par le thermomètre à air.

la vapeur, dans le mélange, seront donc respectivement : $\frac{h-h'}{h}$ et $\frac{h'}{h}$. Ces proportions étant connues, si on appelle π la pesanteur spécifique du gaz, celle de l'air étant prise pour unité, le poids spécifique du gaz saturé de vapeur sera :

$$\left[\frac{h'}{h}\times 0.624+\frac{h-h'}{h}\times\pi\right]\frac{1,7088\,h}{1+0,00375\,t}.$$

Lois générales du mouvement des fluides aériformes.

Un fluide aériforme, contenu dans un vase C (*Pl. XXIII*, *fig.* 2), s'écoulera par un orifice a, pratiqué dans la paroi de ce vase, toutes les fois que la pression du fluide, dans le vase, sera plus grande que celle de l'air ambiant. L'air ambiant pénétrerait, au contraire, dans le vase, par l'orifice a, si la pression extérieure l'emportait sur la pression du gaz enfermé dans le vase C.

La vitesse avec laquelle le fluide sort, dans le premier cas, par l'orifice a, dépend du poids spécifique du fluide, et de l'excès de la pression intérieure sur la pression extérieure, qui doit être mesurée par un manomètre adapté à la paroi du vase C, à une assez grande distance de l'orifice, et dans le plan horizontal passant par le centre de cet orifice. Si l'on désigne par h la hauteur du liquide manométrique, qui mesure cet excès de pression, par π le poids spécifique du liquide, par q le poids spécifique du fluide aériforme sous la pression qui a lieu extérieurement, par V la vitesse d'écoulement, par g le double de l'espace que parcourt un corps grave tombant librement dans la première seconde de sa chute, les principes de la mécanique donnent pour la valeur de la vitesse :

$$V=\sqrt{2g\frac{\pi}{q}\times h}\ (1);$$

les poids spécifiques π et q dépendent, le premier de la nature et de la température du liquide manométrique, le second de la nature, de la température du fluide contenu dans la capacité C, et de la pression extérieure : l'un et l'autre pourront être calculés, lorsque l'on aura

(1) Cette expression, sans être rigoureusement exacte, est suffisamment approchée toutes les fois que la différence des pressions intérieure et extérieure est une petite fraction de l'une d'elles.

mesuré la pression de l'air extérieur au moyen du baromètre, et la température du fluide contenu dans le vase, ainsi que du liquide manométrique au moyen du thermomètre à mercure.

Quant au nombre g, on peut prendre pour sa valeur, sur tous les points de la France, le nombre $9^{m},8088$, qui convient à la latitude et à la hauteur de l'Observatoire de Paris. Les calculs étant effectués autant que possible, la formule précédente devient, moyennant cette valeur du nombre g :

$$V=4.429\sqrt{\frac{\pi}{q}h}. \qquad (a)$$

La vitesse V est ainsi exprimée en mètres par seconde, et elle se rapporte au fluide, réduit à la pression extérieure.

Si l'on désigne par A l'aire de l'orifice d'écoulement, exprimée en mètres carrés, par Q le volume d'air écoulé dans une seconde, exprimé en mètres cubes, et réduit à la pression extérieure, la valeur de Q doit être évidemment égale au produit de l'aire A par la vitesse V, et l'on a :

$$Q=4.429\,A\sqrt{\frac{\pi}{q}h}. \qquad (b)$$

On appelle *dépense* du vase, le volume Q de fluide qui s'écoule dans l'unité de temps.

Les formules (a) et (b) supposent que les pressions intérieure et extérieure, ainsi que la température du fluide contenu dans le vase, demeurent invariables pendant toute la durée de l'écoulement. Il faut pour cela que le vase C ne se vide pas, et que l'air, qui en sort, soit à chaque instant remplacé par un volume d'air égal, de même nature, ou que le vase C puisse être regardé comme ayant une capacité infinie. La comparaison de la formule (b), avec les résultats de l'expérience, a fait voir que la valeur Q était toujours plus grande que la dépense réelle donnée par l'expérience, et que cette dernière était égale à la première, multipliée par un coefficient constant égal à :

0,65, lorsque l'écoulement avait lieu par un orifice pratiqué dans une paroi mince et plane;

0,93, lorsque l'écoulement avait lieu par un tuyau court, cylindrique ou légèrement conique, adapté à l'orifice, et auquel on donne le nom d'ajutage.

D'après cela, la formule qui donne le volume écoulé, dans une seconde, est, pour les orifices en mince paroi :

$$Q = 2.879\, A \sqrt{\frac{\pi}{q}\, h}\,;$$

pour les orifices munis d'un ajutage cylindrique ou conique :

$$Q = 4.119\, A \sqrt{\frac{\pi}{q} h}.$$

Le nombre $\frac{\pi}{q} h$ exprime la hauteur d'une colonne verticale du fluide contenu dans le vase C, réduit à la pression extérieure, qui exercerait sur sa base inférieure, en vertu de son poids, une pression égale à celle d'une colonne du liquide manométrique de hauteur a, le fluide composant la colonne verticale étant regardé comme incompressible. La formule (a) montre donc que la vitesse d'écoulement est égale à celle qu'aurait acquise un corps grave, en tombant d'une hauteur égale à $\frac{\pi}{q} h$. C'est pourquoi nous appellerons cette hauteur, la hauteur génératrice de la vitesse d'écoulement, ou plus brièvement, la hauteur *motrice*.

L'expérience ayant montré que la dépense réelle est inférieure à la dépense théorique, il est naturel d'admettre que la vitesse réelle et la vitesse théorique sont, entre elles, dans le même rapport que les dépenses observée et calculée, et que, par conséquent, le passage du fluide du vase C par l'orifice libre, ou garni d'un ajutage, donne lieu à des résistances particulières, qui ont pour résultat d'annihiler l'effet d'une partie de la hauteur motrice (1). En définitive, si V dé-

(1) Les expériences faites sur l'écoulement des liquides ont démontré que la réduction de la dépense par un orifice en mince paroi ne provient pas d'une diminution de la vitesse donnée par la formule, mais du défaut de parallélisme des filets liquides qui traversent le plan de l'orifice. Au contraire, quand les orifices sont munis d'ajutages qui coulent à *gueule bée*, c'est-à-dire pleins, la réduction de

signe la vitesse réelle, avec laquelle le fluide traverse le plan de l'orifice libre, ou la dernière section de l'ajutage dont il est garni, et μ le coefficient, déduit de l'observation, par lequel il faut multiplier la dépense théorique pour obtenir la dépense réelle, la hauteur motrice nécessaire pour engendrer la vitesse V ne sera pas seulement égale à $\frac{V_2}{2g}$, comme si les résistances, dont nous venons de parler, étaient nulles, mais bien à $\frac{V_2}{2\mu^2 g}$, de sorte qu'on obtiendra la vitesse réelle, en égalant la hauteur motrice à $\frac{V^2}{2\mu_2 g}$. L'équation

$$\frac{V^2}{2\mu^2 g} = \frac{\pi}{q} h$$

fournit en effet pour V la valeur

$$V = \mu \sqrt{2g\frac{\pi}{q}h},$$

qui coïncide avec celle déduite de l'observation de la dépense, quand le coefficient est remplacé par la valeur convenable au genre d'orifice.

Si le fluide contenu dans le vase C doit parcourir, avant d'arriver à l'orifice d'écoulement, un long tuyau prismatique ou cylindrique, dont l'axe soit contenu dans un plan horizontal, le mouvement du fluide dans ce tuyau fait naître des résistances qui absorbent une partie de l'effet de la hauteur motrice, et la vitesse d'écoulement est diminuée. D'après les expériences de M. d'Aubuisson, et de quelques autres physiciens, il paraît que la résistance au mouvement d'une tranche de fluide normale à l'axe du tuyau est proportionnelle à l'étendue superficielle par laquelle cette tranche touche les parois du tuyau, à la densité, et au carré de la vitesse de la tranche.

---

la dépense est le résultat de la diminution de vitesse. Il en est vraisemblablement de même pour les fluides aériformes; mais quand on n'a égard qu'à la dépense, il importe peu que la réduction provienne de la diminution de vitesse ou du défaut de parallélisme des filets. Il en serait tout autrement si l'on voulait utiliser le travail moteur du fluide après sa sortie de l'orifice.

En partant de ces données, l'analyse démontre que si on désigne :

Par L, la longueur du tuyau parcouru par le fluide ;

Par V, la vitesse supposée uniforme, avec laquelle il se meut dans le tuyau ;

Par P, le périmètre de cette aire ;

Par ε, un coefficient numérique que l'expérience doit déterminer, la portion de hauteur motrice détruite par la résistance du tuyau au mouvement de l'air qui le parcourt est exprimée par :

$$\frac{\varepsilon}{g}\frac{P}{A}LV^2. = h$$

Les expériences faites par M. d'Aubuisson sur des tuyaux en fer-blanc, dont il a fait varier le diamètre et la longueur, lui ont donné pour la valeur de ε un nombre qui s'éloigne peu de 0,003, de sorte que l'on pourra adopter cette valeur dans les applications. On suppose d'ailleurs ce coefficient indépendant de la nature des parois de la conduite. Cela est en effet ainsi pour les liquides ; mais on n'a pas d'expériences concluentes à ce sujet pour les fluides aériformes. not

Si le fluide passe d'un tuyau A dans le tuyau B, plus étroit (*Pl. XXIII, fig.* 3), il augmente de vitesse en entrant dans ce dernier. Soient V la vitesse du liquide dans le tuyau A, V′ celle qu'il prend dans le tuyau B. Ces vitesses seront à très-peu près entre elles dans le rapport inverse des aires des sections transversales des tuyaux A et B, si la circulation ou l'écoulement du fluide a lieu depuis un certain temps, et sous une hauteur motrice constante. L'on démontre que l'excès de la pression du fluide à l'extrémité du tuyau A, sur la pression qui a lieu à l'origine du tuyau B, doit répondre à une hauteur motrice égale à $\frac{V'^2-V^2}{2g}$, en admettant que le passage du tuyau A dans le tuyau B ne donne lieu à aucune résistance. Mais il est certain qu'il y a dans ce passage une résistance analogue à celle qui se développe à l'entrée du fluide d'un réservoir dans un orifice libre ou muni d'un ajutage ; il est naturel d'admettre que la résistance est ici de même nature que dans le cas d'un ajutage cylindrique, et qu'en conséquence, la hauteur motrice correspondante à l'excès de la pression n'est pas seulement égale à $\frac{V'^2-V^2}{2g}$, mais bien à $\frac{V'^2-V^2}{2\mu^2 g}$, μ étant $2\mu^2 g$ le coefficient de réduction de la dépense pour un ajutage cylindrique, dont la valeur numérique est, ainsi qu'il a été dit, égale à 0,93.

Si le fluide qui circule dans le tuyau A (*Pl. XXIII, fig.* 4) est

obligé de traverser un orifice rétréci pratiqué dans une cloison ou diaphragme D, la vitesse augmentera au passage de l'orifice, et cette augmentation de vitesse absorbera une partie de la hauteur motrice, qui se détermine de la même manière que précédemment. V désignant la vitesse du fluide dans le tuyau, et V′ la vitesse qu'il prend en traversant l'orifice, cette partie de la hauteur motrice sera égale à $\frac{V'^2 - V^2}{2\mu^2 g}$, expression dans laquelle μ est le coefficient de réduction de la dépense qui convient à la forme de l'ouverture rétrécie. On prendra μ égal à 0,65, ou à 0,93, suivant que cette ouverture se rapprochera plus d'un orifice en mince paroi ou d'un ajutage cylindrique ou conique.

Il est facile, en partant des principes exposés ci-dessus, de calculer la dépense et la vitesse d'un fluide aériforme qui s'écoule d'un vase où la pression est entretenue constante, ainsi que la température, en passant par une suite de tuyaux de diverses sections qui peuvent présenter des rétrécissements ou étranglements.

Soit, par exemple, une suite de tuyaux A, B, E (*fig.* 4), disposés dans un plan horizontal, mis au bout les uns des autres, et par lesquels un fluide aériforme s'écoule du vase C, où la pression est entretenue constante. Je suppose qu'un diaphragme D, percé d'une petite ouverture, existe dans le tuyau A, et que la conduite se termine par une buse conique F. On demande quelles seront la vitesse d'écoulement du fluide par l'orifice de la buse F, et la dépense.

J'appelle h la hauteur du liquide manométrique qui mesure l'excès de la pression du fluide contenu dans le vase C sur l'air extérieur. (Le manomètre doit être inséré dans la paroi du vase, dans le plan horizontal contenant l'axe de la conduite, et assez loin de l'embouchure du tuyau A pour que le fluide soit sensiblement en repos au point d'insertion du manomètre.)

π Le poids du mètre cube du liquide manométrique.

q le poids du mètre cube du fluide contenu dans le vase, ce fluide étant supposé ramené à la pression existante dans l'air extérieur, devant l'orifice d'écoulement de la buse F.

A l'aire de la section du tuyau A, par un plan normal à son axe.

P le périmètre de cette section.

L la longueur de ce tuyau.

A′ P′ L′ l'aire de la section, le périmètre et la longueur du second tuyau B.

A″, P″ L″ les quantités analogues relatives au troisième tuyau.

a l'aire de l'orifice d'écoulement qui termine la buse F.

a_1 l'aire de l'orifice rétréci pratiqué dans le diaphragme D.

V la vitesse inconnue de l'air sortant par l'orifice a sous la pression de l'air extérieur.

Q la dépense d'air sous cette dernière pression.

σ le coefficient numérique du frottement de l'air dans les tuyaux.

μ le cofficient de réduction de la dépense théorique pour un ajutage cylindrique ou conique.

μ' le coefficient de réduction de la dépense théorique pour le passage rétréci du diaphragme D.

La hauteur motrice sera $\frac{\sigma h}{q}$. Cette hauteur motrice se décompose ainsi qu'il suit :

La vitesse d'écoulement par l'orifice a étant égale à V, la vitesse du fluide dans le tuyau A sera à peu près égale à V, multipliée par le rapport inverse des aires A et a, ou $V \times \frac{a}{A}$; le fluide passe donc du vase C dans le tuyau A, avec une vitesse égale à $V\frac{a}{A}$; ce qui absorbe une partie de la hauteur motrice exprimée par :

$$\frac{V^2 \frac{a^2}{A^2}}{2\mu^2 g} = \frac{V^2 a^2}{2\mu^2 g A^2}. \qquad (1)$$

La circulation de l'air dans le tuyau A, avec une vitesse égale à $\frac{Va}{A}$, absorbe une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{\sigma P}{g A} L \frac{V^2 a^2}{A^2}. \qquad (2)$$

L'air, en traversant l'ouverture ménagée dans le diaphragme D, prend une vitesse plus grande que celle qu'il possédait, dans le tuyau A. L'aire de l'ouverture rétrécie étant a_1, la vitesse dans cette ouverture est à la vitesse V dans le rapport inverse des aires a_1 et a, en négligeant les variations de densité du fluide dans le parcours de la conduite. La vitesse que l'air prend dans le passage est donc égale à $\frac{Va}{a_1}$; dans le tuyau, cette vitesse est seulement $\frac{Va}{A}$, l'accroisse-

ment de vitesse qui a lieu au passage de l'ouverture consomme donc une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{\frac{V^2a^2}{a_1^2}-\frac{V^2a^2}{A^2}}{2\mu'^2g}=\frac{V^2a^2}{2\mu'^2g}\left(\frac{1}{a_1^2}-\frac{1}{A^2}\right). \qquad (3)$$

Après avoir traversé le diaphragme, l'air reprend dans le tuyau A, la vitesse $\frac{Va}{A}$. A l'entrée du tuyau B, la vitesse devient sensiblement égale à $\frac{Va}{A'}$. Cet accroissement de vitesse consomme une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{\frac{V^2a^2}{A'^2}-\frac{V^2a^2}{A^2}}{2\mu^2g}=\frac{V^2a^2}{2\mu^2g}\left(\frac{1}{A'^2}-\frac{1}{A^2}\right). \qquad (4)$$

Les résistances, dans le parcours du tuyau B, consomment une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{6}{g}\,\frac{P'}{A'}\,L'\,\frac{V^2a^2}{A'^2}. \qquad (5)$$

A l'entrée du tuyau E, la vitesse devient égale à $\frac{Va}{A''}$, et l'accroissement de vitesse consomme une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{\frac{V^2a^2}{A''^2}-\frac{V^2a^2}{A'^2}}{2\mu^2g}=\frac{V^2a^2}{2\mu^2g}\left(\frac{1}{A''^2}-\frac{1}{A'^2}\right). \qquad (6)$$

Les résistances, dans le parcours du tuyau E, consomment une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{6}{g}\,\frac{P''}{A''}\,L''\,\frac{V^2a^2}{A''^2}. \qquad (7)$$

Enfin, en sortant par l'orifice de la buse conique F, l'air prend la vitesse finale V; il possédait antérieurement, dans le tuyau E, la

vitesse $\frac{Va}{A''}$. L'accroissement de vitesse consomme donc une partie de la hauteur motrice égale à :

$$\frac{V^2 - \frac{V^2 a^2}{A''^2}}{2\mu^2 g} = \frac{V^2 a}{2\mu^2 g}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{A''^2}\right). \qquad (8)$$

La somme des quantités (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) et (8) doit égaler la hauteur motrice totale. Nous avons donc, pour déterminer la vitesse V, l'équation :

$$\frac{\pi}{q} h = \text{la somme ci-dessus.}$$

Observant que la dépense du fluide, mesurée sous la pression extérieure, est égale au produit Va de l'orifice a par la vitesse V, on a : $aV = Q$; et par conséquent de l'équation précédente, on tire les valeurs suivantes de V et de Q :

$$V = \frac{1}{a}\sqrt{\frac{2g\frac{\pi}{q}h}{D}} \qquad Q = \sqrt{\frac{2g\frac{\pi}{q}h}{D}},$$

dans lesquelles on a remplacé par la lettre D le dénominateur de la fraction sous le signe $\sqrt{}$, dont la valeur est :

$$D = 2\beta\frac{P}{A}\frac{L}{A^2} + 2\beta\frac{P'}{A'}\frac{L'}{A'^2} + 2\beta\frac{P''}{A''}\frac{L''}{A''^2} + \frac{1}{\mu^2 A^2}$$
$$+ \frac{1}{\mu'^2}\left(\frac{1}{a_1^2} - \frac{1}{A^2}\right) + \frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{A'^2} - \frac{1}{A^2}\right)$$
$$+ \frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{A''^2} - \frac{1}{A'^2}\right) + \frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{A''^2}\right).$$

Ces valeurs ne sont point rigoureusement exactes ; elles conviendraient à un fluide incompressible, dont le poids spécifique serait égal à q, et qui s'écoulerait par la conduite adaptée au vase C, sous la hauteur motrice mesurée par la colonne de liquide manométrique. Néanmoins on peut en faire usage sans grande erreur, tant que les

variations de pression, et par conséquent de densité du fluide aériforme, dans tout le parcours de la conduite, sont comprises entre des limites très-resserrées ; or c'est précisément ce qui a lieu dans les applications pratiques, où l'excès de pression mesuré par la hauteur du liquide manométrique, est une petite fraction de la pression extérieure.

Quand on veut avoir égard à la compressibilité du fluide, il n'est plus possible de résoudre algébriquement les équations, dans lesquelles est engagée l'inconnue V. (Nous renvoyons, pour la question générale, aux deux mémoires sur le mouvement des fluides élastiques, publiés dans les *Annales des mines*, 3e série, tome XII, p. 373.)

Bien que les valeurs de V et de Q soient très-longues et paraissent compliquées, elles sont très-simples au fond ; le numérateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$ n'est en effet autre chose que la hauteur motrice, multipliée par $2g$, et le dénominateur se compose de la somme de plusieurs termes, qui sont de deux espèces. Les premiers proviennent des résistances ou frottements, que l'air éprouve dans le parcours des tuyaux successifs, où il circule. Chacun d'eux est égal au coefficient numérique 2σ ou 0,006, multiplié par une expression de la forme $\frac{P}{A}\frac{L}{A^2}$. Il y a autant de termes semblables, qu'il entre de tuyaux de sections différentes dans la conduite. Les seconds se rapportent aux accroissements de vitesse que l'air prend aux passages d'un tuyau dans un autre plus étroit, ou dans des ouvertures rétrécies. Chacun d'eux est égal à $\frac{1}{\mu^2}$ multiplié par la différence $\frac{1}{A'^2}-\frac{1}{A^2}$. μ désigne un coefficient numérique, égal à 0,65 ou 0,93, suivant que le passage rétréci est analogue à un orifice en mince paroi, ou à un ajutage cylindrique ou conique. Dans l'expression $\frac{1}{A'^2}-\frac{1}{A^2}$, le premier terme est l'unité divisée par le carré de l'aire de la section du tuyau dans lequel l'air entre, et le second est l'unité divisée par le carré de l'aire de la section du tuyau d'où l'air sort. Dans cette dernière classe de termes, figure celui qui se rapporte à l'entrée de l'air, du vase C dans le premier tuyau, dont la section transversale est égale à A. Ici le facteur qui multiplie $\frac{1}{\mu^2}$ se réduit à $\frac{1}{A^2}$, parce que la section du vase C peut être regardée

comme infinie, par rapport à celle du tuyau, ce qui rend le second terme de ce facteur nul. On remarquera que ce dénominateur se compose uniquement de termes positifs, parce que, dans les binomes de la forme $\frac{1}{A'^2} - \frac{1}{A^2}$, l'aire A′ est supposée plus petite que l'aire A du tuyau précédent. Le passage de l'air, d'un tuyau plus étroit dans un tuyau plus large, n'introduirait aucun terme au dénominateur (1).

On voit que l'on peut diminuer, autant que l'on veut, la vitesse d'écoulement, et la dépense Q de fluide, en forçant l'air à passer par une ouverture rétrécie, ménagée dans un diaphragme, interposé dans une partie quelconque de la conduite, que parcourt le fluide; car cette circonstance introduit au dénominateur un terme

$$\frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{A^2}\right),$$

dans lequel a désigne l'aire de l'ouverture ménagée dans le diaphragme, qui croît de plus en plus, à mesure que l'aire a de l'ouverture est plus petite, et qui ne se réduit avec aucun autre terme.

Équation du mouvement des fluides, dans des conduites dont l'axe n'est pas contenu dans un plan horizontal. — Nous avons admis que le fluide en mouvement parcourt une conduite, dont l'axe est contenu dans un plan horizontal, de sorte que l'action de la pesanteur n'a aucune influence sur la vitesse et sur la dépense. Si cette condition n'est point satisfaite, et si l'orifice d'écoulement est à un niveau plus élevé, ou plus bas, que l'embouchure de la conduite dans le vase C, ou que le point d'insertion du manomètre, l'action de la pesanteur influera sur le mouvement du fluide.

D'abord, il est essentiel de se souvenir que le terme $\frac{\pi h}{q}$ exprime la

---

(1) En général, le dénominateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$ se simplifie beaucoup, parce qu'il renferme beaucoup de termes égaux et de signes contraires qui se détruisent deux à deux. Nous aurions pu effectuer la réduction dans l'expression D donnée plus haut dans le texte : nous avons préféré laisser cette expression sous une forme qui a l'avantage de mettre en évidence l'influence due à chacun des changements de section de la conduite, et aux étranglements que l'air est obligé de traverser.

hauteur d'une colonne verticale de fluide supposé incompressible, dont le poids spécifique est q, et qui exerce sur sa base une pression égale à l'excès de la pression du fluide dans le vase C, sur la pression qui a lieu extérieurement sur l'orifice de l'écoulement. Or, la différence de hauteur du liquide, dans les deux branches du manomètre, donne seulement l'excès de la pression du fluide, contenu dans le vase, sur la pression de la couche atmosphérique, située au même niveau, dans laquelle est ouverte la branche *nc* du manomètre (*fig.* 1). Si l'orifice de la conduite est à un niveau plus élevé, ou plus bas, la pression sur cet orifice sera différente de celle, qui a lieu dans la couche atmosphérique, où le manomètre est ouvert, et la simple indication du manomètre ne fournira plus les éléments nécessaires pour calculer la hauteur motrice. Il faudra dans ce cas déterminer à l'aide du baromètre, 1° la pression qui a lieu dans la couche atmosphérique où le manomètre est ouvert, et où la conduite s'adapte au vase C; 2° la pression qui a lieu dans la couche atmosphérique, où est situé l'orifice d'écoulement.

De la première observation, et de la différence de hauteur du liquide dans les deux branches du manomètre, il sera aisé de conclure la pression du fluide contenu dans le vase C. On en retranchera la pression observée près de l'orifice d'écoulement; et cette différence, divisée par le poids q du mètre cube de fluide, ramené à cette dernière pression, sera l'expression de la hauteur motrice, due à la pression du fluide contenu dans le vase C. Ce ne sera pas encore là la hauteur motrice totale, parce que la gravité agira sur le fluide, circulant dans la conduite inclinée. Il faut augmenter ou diminuer la hauteur motrice, due à la pression du fluide, de la distance verticale entre le point où la conduite est insérée sur le vase C, et l'orifice d'écoulement, suivant que ce dernier est à un niveau plus bas, ou à un niveau plus élevé que le point d'insertion, de sorte qu'il est encore nécessaire de déterminer par un nivellement cette distance verticale.

L'exemple suivant éclaircira ce qui précède.

Supposons qu'à un vase ou gazomètre, rempli d'hydrogène protocarboné, soit adapté un tuyau de conduite cylindrique, de 300 mètres de longueur, de $0^m,30$ de diamètre intérieur, terminé par une buse conique de $0^m,10$ de diamètre; que la distance verticale, entre le point d'insertion de la conduite sur le gazomètre et l'orifice, soit de 50 mètres en contre-bas, c'est-à-dire que la conduite descende de 50 mètres, depuis le point où elle est adaptée au gazomètre.

Le calcul de la vitesse et de la dépense exigera les observations suivantes :

1° Un manomètre sera inséré sur la paroi du gazomètre, en un point situé dans le même plan horizontal que le point d'insertion de la conduite. La différence de hauteur du liquide, dans les deux branches, sera observée. Supposons que le liquide manométrique soit du mercure, et soit cette différence de $0^m,01$ de mercure réduit à la température de 0 degré ;

2° On déterminera la température du fluide, contenu dans le gazomètre, en degrés centigrades. Elle sera ordinairement celle de l'air ambiant. Je la suppose de 15 degrés ;

3° On mesurera, à l'aide du baromètre, la pression atmosphérique, à la hauteur du point d'insertion de la conduite. Je suppose qu'elle soit mesurée par une colonne de mercure, réduite à la température de 0 degré de $0^m,74$ de hauteur ;

4° Enfin on mesurera aussi, à l'aide du baromètre, la pression atmosphérique, au niveau et tout près de l'orifice d'écoulement. Celle-ci sera nécessairement plus grande que la première ; la différence dépendra de la constitution de l'atmosphère, entre les deux extrémités de la conduite. Je suppose qu'elle soit mesurée par une colonne de mercure, réduite à 0 degré, de $0^m,7444$.

De ces observations, on conclura d'abord la hauteur motrice, ainsi qu'il suit :

Il est évident que la pression de l'hydrogène proto-carboné dans le gazomètre, est mesurée par une colonne de mercure de $0^m,74 + 0^m,01$, ou $0^m,75$.

La pression sur l'orifice d'écoulement est de 0,7444. L'excès de pression est donc mesuré par une colonne de mercure de $0,75 - 0,7444$, ou $0^m,0056$ de hauteur. On aura la hauteur motrice, due à cet excès de pression, en multipliant ce nombre, par le rapport du poids spécifique du mercure au poids spécifique de l'hydrogène proto-carboné, à la température de 15 degrés, et sous la pression de $0^m,7444$ de mercure qui a lieu dans le plan de l'orifice d'écoulement. Le poids du mètre cube de mercure, à 0 degré, est 13,598 kilog. ; le poids du mètre cube d'hydrogène proto-carboné à 15 degrés, et sous la pression de $0^m,7444$ de mercure, est égal à :

$$0,555 \times \frac{1,7088 \times 0,7444}{1 + 0,00375 \times 15} = 0^k,6684.$$

Le rapport des poids spécifiques est donc égal à $\frac{13598}{0,6674}$ qui multi-

plié par 0m,0056 donne pour la hauteur motrice cherchée, 31,391m; à quoi il faut ajouter 50 mètres, pour avoir la hauteur motrice totale, qui est ainsi égale à 163m,93.

Quant au dénominateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$, dans les valeurs de la vitesse et de la dépense, il se composera ici de trois termes, savoir :

1° Le terme provenant des frottements ou résistances de la conduite, dont l'expression générale est :

$$2\varepsilon \frac{P}{A} \frac{L}{A^2}$$

dans lequel on fera $2\varepsilon = 0,006$.

$$L = 300 \text{ mètres.}$$

A = la surface d'un cercle de 0m,30 de diamètre $= 0,7854 \times 0,09 = 0^{m.\,car.},070686$.

$\frac{P}{A}$ est le rapport de la circonférence à l'aire du cercle de 0m,30 de diamètre, rapport qui est égal à

$$\frac{\pi \times 0.30}{\frac{\pi \times (0,30)^2}{4}} = \frac{4}{0.30} = 13.3333.$$

Tout calcul fait, on a :

$$2\varepsilon \frac{P}{A} \frac{L}{A^2} = 4803.$$

2° Le terme relatif à la vitesse que le gaz prend, en passant du gazomètre dans le tuyau de 0m,30 de diamètre, dont l'expression générale est $\frac{1}{\mu^2 A^2}$ et dans lequel il faut prendre $\mu = 0,93$, et A égal à l'aire de la section transversale du tuyau que nous avons trouvée ci-dessus de $0^{m.\,car.},070686$; on a donc :

$$\frac{1}{\mu^2 A^2} = 231,4.$$

3° Le terme relatif à l'accroissement de vitesse, que le gaz prend, en passant de la conduite dans l'orifice d'écoulement, et dont l'ex-

pression générale est $\frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{a^2}-\frac{1}{A^2}\right)$. Ici, il faut encore prendre $\mu =$ 0,93; d'ailleurs, $A = 0^{m.\,carr.},070686$, et $a =$ l'aire du cercle de $0^m,10$ de diamètre, ou $0,7854 \times 0,01 = 0^{m.\,carr.},007854$. On a en conséquence :

$$\frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{a^2}-\frac{1}{A^2}\right)=18512,6.$$

Le dénominateur est donc égal à :

$$4805+231,4+18512,6=23547.$$

Les valeurs de V et de Q sont :

$$Q=\sqrt{\frac{2g \times 113,93}{23547}}=4,429\sqrt{\frac{113,93}{23547}}=0^{m.\,cub.},587,$$

$$V=\frac{Q}{a}=\frac{0^m,5087}{0,007854}=39^m,31.$$

Si la conduite, au lieu d'être inclinée vers le bas, était ascendante, de telle sorte que l'orifice d'écoulement se trouvât, à un niveau plus élevé de 50 mètres que le point d'insertion, sur le gazomètre C, tout étant d'ailleurs comme dans l'exemple précédent, il est clair que le dénominateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$, dans les valeurs de V et de Q, serait encore le même; mais la hauteur motrice serait différente. D'abord la pression extérieure, au niveau de l'orifice d'écoulement, serait moindre que celle qui a lieu dans la couche atmosphérique, où se trouve le point d'insertion de la conduite dans le gazomètre, et que nous supposons toujours mesurée par une colonne de mercure de $0^m,74$. On sait que la pression atmosphérique décroît à peu près en progression géométrique, pour des hauteurs croissantes en progression arithmétique. Ainsi, si elle est de $0^m,7444$ de mercure, à 50 mètres au dessous du point d'insertion de la conduite dans le réservoir de gaz, à 50 mètres au dessus du même point, elle différera peu du quatrième terme de la proportion :

$$0^m,7444 : 0^m,74 :: 0^m,74 : x^m,$$

d'où :

$$x = 0^m,7356.$$

Supposons que ce soit là la pression réellement observée. L'excès de

pression du gaz contenu dans le réservoir, sur la pression extérieure à l'orifice, sera mesuré par une colonne de mercure dont la hauteur sera :

$$0^m,75 - 0^m,7356 = 0^m,0144.$$

D'ailleurs, le poids du mètre cube de gaz hydrogène proto-carboné, à la température de 15 degrés, et sous la pression de $0^m,7356$ de mercure, est égal à :

$$0,555 \times \frac{1,7088 \times 0,7356}{1+0,00375 \times 15} = 0^k,6605.$$

Le rapport du poids spécifique du mercure, au poids spécifique du gaz ci-dessus calculé, est $\frac{13598}{0,6605}$, lequel étant multiplié par le nombre $0^m,0144$, hauteur de la colonne de mercure, qui mesure l'excès de pression du gaz, contenu dans le réservoir, donne, pour la hauteur motrice due à cet excès de pression, $296^m,45$.

Ce nombre doit être diminué de 50 mètres, pour avoir la hauteur motrice définitive, parce que le gaz s'élève dans la conduite en sens inverse de l'action de la pesanteur. La hauteur motrice est donc définitivement égale à $246^m,45$, et les valeurs de Q de V, correspondantes à notre hypothèse, sont :

$$Q = 4,429 \sqrt{\frac{246,45}{23547}} = 0^{m.\ cub.},454,$$

$$V = \frac{Q}{a} = \frac{0,454}{0.007854} = 57^m,80 ;$$

la vitesse d'écoulement et la dépense sont donc beaucoup plus considérables dans ce cas que dans celui que nous avons examiné d'abord, bien que la pression intérieure du gaz et les dimensions de la conduite soient les mêmes. Cela tient à ce que l'hydrogène proto-carboné a une densité beaucoup moindre que celle de l'air atmosphérique. Nous aurions trouvé des résultats en sens inverse, si nous eussions supposé que le gazomètre renfermait un gaz plus dense que l'air atmosphérique, de l'acide carbonique, par exemple.

Ceci fait voir qu'on ne peut se dispenser de tenir compte de l'action de la gravité, dans le calcul du mouvement des fluides dans les tuyaux de conduite, lorsque le fluide en mouvement a une pesanteur

spécifique différente de celle de l'air. Dans les villes éclairées au gaz, l'influence de l'inclinaison des conduites est extrêmement sensible, bien que le gaz de l'éclairage s'éloigne moins que l'hydrogène protocarboné, de la densité de l'air.

Équation approchée du mouvement d'un fluide, dans le cas où sa température varie dans le parcours de la conduite. — Il est encore un dernier élément, qui modifie les lois du mouvement des fluides aériformes, auquel il est nécessaire d'avoir égard. C'est la variation de température que le fluide peut éprouver dans le trajet qu'il parcourt. Très-fréquemment cette variation est l'unique cause du mouvement; elle influe à la fois sur la hauteur motrice et sur les résistances, c'est-à-dire sur le numérateur et le dénominateur des valeurs de V et de Q. Voici comment se composent, dans le cas le plus général, les deux termes de ces fractions. (*Voyez*, pour la démonstration, le mémoire déjà cité, *Ann. des mines*, 3me série, t. XII, p. 373.)

Soit une conduite ABCDEFGH (*Pl. XXIII, fig.* 5) sinueuse, et dont l'axe n'est point contenu dans un plan horizontal. Elle est insérée en A dans un réservoir R, où la pression et la température demeurent invariables, et d'où le fluide s'écoule, pour se répandre en H dans l'atmosphère. Plusieurs diaphragmes d, d', d'', présentant des ouvertures rétrécies, existent dans cette conduite, et l'on suppose que la température du fluide varie dans le parcours.

J'appelle T_0 la température du fluide, dans le réservoir R, et à l'origine de la conduite.

T_1 la température finale qu'il possède, en sortant par l'orifice d'écoulement H.

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6 les températures respectives que possède le fluide, arrivé aux points successifs B, C, D, E, F, G, où la conduite se plie dans le sens vertical.

Soient en même temps h_1, h_2, h_3, h_4 les hauteurs verticales respectives, des portions de conduite AB, CD, EF, GH, que je suppose réunies par des parties horizontales BC, DE, FG.

J'appelle h'_0 la hauteur de la colonne de mercure, réduite à 0 degrés centigrades, qui mesure la pression totale du fluide dans le réservoir R, au niveau de l'origine de la conduite A.

h'_1 la hauteur de la colonne de mercure, qui mesure la pression atmosphérique en H, sur l'orifice d'écoulement.

Cela posé, la hauteur motrice, c'est-à-dire le nombre qui, multiplié par $2g$, forme le numérateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$, se calculera de la manière suivante :

On déterminera le poids du mètre cube, du fluide qui circule dans la conduite, sous la pression d'une colonne de mercure de hauteur h'_1, et à la température T_1. Ce sont la pression et la température qui ont lieu dans le fluide sortant par l'orifice H. On divisera le nombre 13.598, poids spécifique du mercure, par le poids spécifique du fluide ainsi déterminé, et on multipliera le quotient par la différence $h'_0 - h'_1$ des colonnes de mercure, qui mesurent les pressions du fluide en A et en H. Le produit exprimera cette partie de la hauteur motrice, qui est due à l'excès de pression du fluide contenu dans le vase R.

Chacune des parties inclinées AB, CD, EF, GH de la conduite donnera un terme de la hauteur motrice, lequel sera positif, pour les portions de conduite où l'air circule de haut en bas, et négatif pour celles où le fluide circule en montant. On obtiendra la valeur numérique de chaque terme, en multipliant la hauteur verticale de la portion de conduite à laquelle il est relatif par le rapport $\frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,\theta}$, dans lequel θ est la température moyenne du fluide, dans cette portion de la conduite. Ainsi, la partie AB, où l'air circule en descendant, fournira le terme additif :

$$+h_1 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,\frac{T_0+t_1}{2}};$$

la partie CD, où le fluide circule en montant, fournira le terme soustractif :

$$-h_2 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,\frac{t_2+t_3}{2}};$$

la partie EF, le terme additif :

$$+h_3 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,\frac{t_4+t_5}{2}};$$

enfin, la partie GH, le terme soustractif :

$$-h_4 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,\frac{t_6+T_1}{2}}.$$

Chacun de ces termes est la hauteur verticale d'une partie de conduite, augmentée ou diminuée, comme elle le serait, si le fluide qui y circule passait de la température moyenne qu'il possède à la température finale T_1 du fluide sortant par l'orifice d'écoulement.

La hauteur motrice se composera donc des termes suivants :

$$\frac{13598}{q_1}(h'_0 - h'_1) + h_1 \times \frac{1 + 0{,}00375\,T_1}{1 + 0{,}00375\,\frac{T_0 + t_1}{2}}$$

$$- h_2 \times \frac{1 + 0{,}00375\,T_1}{1 + 0{,}00375\,\frac{t_2 + t_3}{2}} + h_3 \times \frac{1 + 0{,}00375\,T_1}{1 + 0{,}00375\,\frac{t_4 + t_5}{2}}$$

$$- h_4 \times \frac{1 + 0{,}00375\,T_1}{1 + 0{,}00375\,\frac{t_6 + T_1}{2}}$$

q_1 désigne le poids du mètre cube de fluide, sortant par l'orifice H, sous la pression h'_1, et à la température T_1.

Ceci suppose que la température du fluide varie par degrés insensibles, et d'une manière à peu près uniforme, dans chacune des parties inclinées de la conduite.

Quant au dénominateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$, il se compose toujours de termes du même genre et de même forme que ceux dont il est formé, lorsque la température est constante. Mais ces termes doivent être modifiés ainsi qu'il suit :

1° Ceux qui se rapportent aux résistances que l'air éprouve, en parcourant une partie de la conduite telle que AB, sont composés de deux parties. L'une est égale au terme que l'on aurait, si la température était constante, et qui est de la forme $2\sigma \frac{L}{A} \frac{P}{A^2}$, multiplié par le rapport

$$\frac{1 + 0{,}00375\,\theta}{1 + 0{,}00375\,T_1},$$

dans lequel θ est encore la température moyenne, dans la partie de la conduite que l'on considère. L'autre partie de ce terme est :

$$\frac{4{,}6}{A^2} \log \frac{1 + 0{,}00375\,t_m}{1 + 0{,}00375\,t_{m-1}},$$

multiplié par le même rapport $\frac{1+0,00375\theta}{1+0,00375T_1}$, dans laquelle t_m est la température à l'extrémité, et t_{m-1} la température à l'origine, de la portion de conduite considérée. A est l'aire de la section transversale de la conduite. Le logarithme est pris dans les tables ordinaires. Ainsi, la portion AB de la conduite fournira au dénominateur le double terme :

$$\left(26\frac{P}{A}\frac{L}{A^2}+\frac{4,6}{A^2}\log\frac{1+0,00375\,t_1}{1+0,00375\,T_0}\right)\frac{1+0,00375\,\frac{T_0+t_1}{2}}{1+,0,00375\,T_1}.$$

La seconde partie de ce terme est positive ou négative, comme on voit, suivant que t_1 est plus grand ou plus petit que T_0, c'est-à-dire suivant que la température du fluide va en augmentant ou en diminuant. Au surplus, lorsque les températures t_1 et T_0 ne sont pas très-différentes, il est visible que le logarithme du rapport $\frac{1+0,00375t_1}{1+0,00375T^0}$, ne diffère que très-peu de 0, et si en même temps le produit $\frac{6PL}{A}$ a une valeur un peu grande, comme cela arrive ordinairement, cette seconde partie peut être négligée par rapport à la première.

2° Ceux des termes du dénominateur qui sont relatifs à l'accroissement de vitesse que prend le fluide en traversant un passage rétréci, ou en passant d'une conduite dans une autre plus étroite, s'obtiennent en multipliant les termes qui conviennent à une température uniforme par le rapport $\frac{1+0,00375\theta}{1+0,00375T_1}$, dans lequel θ exprime la température que possède le fluide au passage dans lequel sa vitesse augmente. Ainsi, l'entrée du fluide dans la conduite en A produira le terme :

$$\frac{1}{\mu^2A^2}\times\frac{1+0,00375T_0}{1+0,00375\,T_1},$$

dans lequel on prendra $\mu=0,93$, et A égal à l'aire de l'embouchure de la conduite, au point où elle s'adapte au réservoir.

Le passage de l'air à travers l'ouverture du diaphragme d, produira le terme :

$$\frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{a^2}-\frac{1}{A'^2}\right)\times\frac{1+0,00375\,t}{1,+0,00375\,T_1},$$

où t est la température du fluide, au passage de cet orifice, a l'aire du passage rétréci, A' l'aire de la section transversale de la conduite qui précède, μ un coefficient égal à 0,93 ou 0,65, suivant que l'ouverture rétrécie est évasée ou analogue à un orifice en mince paroi.

On a ainsi, dans le cas le plus général, en ayant égard aux variations de température, et à l'action de la gravité :

$$Q = 4,429 \sqrt{\frac{\frac{13598}{q_1}(h'_0 - h'_1) + \Sigma \pm H \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,\frac{t'+t''}{2}}}{D}}$$

formule dont le dénominateur D est :

$$D = \Sigma\left(2\varepsilon \frac{P}{A}\frac{L}{A^2} + \frac{4,6}{A^2}\log\frac{1+0,00375\,t''}{1+0,00375\,t'}\right)\frac{1+0,00375\,\frac{t'+t''}{2}}{1+0,00375\,T_1}$$
$$+\Sigma\frac{1}{\mu^2}\left(\frac{1}{A'^2}-\frac{1}{A^2}\right)\times\frac{1+0,00375\,\theta}{1+0,00375\,T_1}.$$

Dans ces formules, le signe Σ indique qu'une somme de termes, semblables à celui qui est écrit à sa suite, entrent dans l'équation. Les détails précédemment donnés ne laissent aucune difficulté ni sur la signification des lettres, ni sur la formation des termes successifs dans chaque cas particulier. La dépense Q est donnée à la température T_1, et sous la pression qui a lieu sur l'orifice d'écoulement. On obtiendra donc la vitesse V en divisant la dépense par la surface de l'orifice.

Ces valeurs de V et de Q ne sont pas rigoureusement exactes; mais elles sont suffisamment approchées pour les applications pratiques, et mettent bien en évidence les circonstances dépendantes, soit de la forme et des dimensions de la conduite, soit des variations de température, qui tendent à augmenter la dépense et la vitesse du fluide sortant ou à la diminuer; elles constituent par conséquent la base de la théorie de l'aérage des mines. Les valeurs rigoureuses qu'il est impossible d'obtenir sous forme algébrique ne seraient pas beaucoup plus utiles que les valeurs approchées, attendu qu'il sera toujours impossible d'avoir, dans une conduite aussi irrégulière que le sont les galeries des mines, les éléments numériques exacts à substituer dans la formule pour les applications particulières. La seule chose importante est donc de connaître les causes qui peuvent influer sur

la circulation de l'air, et la part relative pour laquelle chacune d'elles concourt au résultat général.

Si la température du fluide variait rapidement et beaucoup dans le parcours d'une petite étendue de la conduite, qui appartiendrait à une portion horizontale ou verticale, comme cela a lieu dans le cas où le fluide est échauffé en passant sur un foyer allumé ou en léchant des surfaces métalliques rouges, il faudrait considérer cette partie de la conduite comme un tuyau à part, et former séparément les termes du numérateur et du dénominateur qui s'y rapportent.

Les formules générales que nous venons de développer dans les deux cas de la température constante et de la température variable, peuvent s'appliquer à une portion de conduite dans laquelle circule le fluide comme à la conduite entière. Par exemple, si dans la conduite (*fig.* 5) on connaît la pression qui a lieu dans le fluide en mouvement, dans une section transversale K, normale à l'axe, en même temps que la pression sur l'orifice d'écoulement, ainsi que les autres données relatives, soit à la forme de la conduite, soit aux températures du fluide aux points principaux, on pourra déterminer la dépense Q et la vitesse V tout comme si l'on connaissait la pression du fluide dans le réservoir R. La hauteur motrice qui, multipliée par $2g$, formerait le numérateur de l'expression sous le radical, se composerait alors du terme $\frac{13598}{q_1}(h'_0 - h'_1)$, dans lequel h'_0 et h'_1 seraient les pressions respectives dans la section K et à l'orifice d'écoulement, exprimées en colonnes de mercure réduites à 0 degré, et où q_1 aurait la même signification que dans le cas précédemment discuté, et des autres termes qui, dans la formule générale, sont relatifs aux portions de la conduite qui suivent la section K.

Quant au dénominateur, il se composerait de tous les termes qui, dans la formule générale, se rapportent aux parties de la conduite qui suivent la section K, c'est-à-dire dans lesquelles le fluide circule après qu'il a franchi cette section.

Les équations qui donnent les valeurs de V et de Q peuvent servir à déterminer la pression qui a lieu, soit à l'origine de la conduite, soit en un point quelconque de celle-ci, lorsqu'on connaît la dépense réelle Q, la pression sur l'orifice d'écoulement, et les autres quantités qui entrent dans les formules.

Mouvement des fluides aériformes déterminé par des variations de température. — Il résulte des principes exposés précédemment que, si la conduite sinueuse ABCDEFGH (*fig.* 5) débouche par ses deux extrémités dans l'atmosphère, l'air qui la remplira ne sera généra-

lement en équilibre que lorsqu'il sera partout à la même température que dans l'atmosphère. En effet, pour l'équilibre, il faut que la hauteur motrice dont nous avons donné l'expression soit nulle. Or, si l'on prolonge par la pensée le plan horizontal passant par l'ouverture A qui se trouve à un niveau plus élevé que H jusqu'au dessus de celle-ci, on sait que la pression atmosphérique sera la même dans toute l'étendue de la couche de niveau contiguë à ce plan. Soit z la différence de niveau HI des deux ouvertures. Il est permis de supposer que la branche GH de la conduite se prolonge jusqu'au plan I, pourvu que l'on ajoute que la partie de conduite, comprise entre H et I, dont la hauteur verticale est z, a une section extrêmement grande, de sorte que, dans le mouvement, l'air n'y prend qu'une vitesse insensible. Alors les pressions sur les deux orifices de la conduite contenus dans la même couche de niveau A I, seront les mêmes, et par conséquent, le premier terme $\frac{13598}{q_1}(h'_0 - h'_1)$ de la hauteur motrice deviendra nul. Quant aux autres termes qui sont, les uns positifs, et les autres négatifs, leur somme sera nulle aussi, si la température est partout uniforme, puisqu'elle se réduira alors simplement à $h_1 - h_2 + h_3 - h_4 - z$.

Mais si l'aire se trouve, dans les portions verticales ou inclinées AB, CD, EF, GH, à des températures différentes de la température atmosphérique que je représenterai toujours par T_0, les différents termes h_1, h_2, h_3, h_4 et z, devront être multipliés par des coefficients numériques différents, et leur somme ne sera plus nulle que dans quelques cas particuliers. L'air contenu dans la conduite prendra donc en général un mouvement dans un sens ou dans l'autre. En même temps, l'air atmosphérique s'introduira par l'une des ouvertures, et s'il existe des causes qui fassent varier la température de l'air pendant le parcours, si par exemple, un foyer de chaleur existe quelque part, ou si les parois sont à une température différente, plus ou moins élevée que celle de l'atmosphère, l'air continuera à circuler dans le même sens, et un courant permanent s'établira. Ainsi, la cause des courants d'air naturel qui s'établissent dans les excavations souterraines, communiquant avec le jour par plus d'une ouverture, réside dans la différence habituelle entre la température de la roche qui forme les parois des galeries et la température de l'atmosphère, variable avec les saisons, l'heure de la journée et les divers accidents météorologiques.

Causes des courants d'air naturels dans les excavations souterraines.—La température du sol, à une très-petite profondeur au

dessous de la surface, cesse d'être affectée par les variations fréquentes de température qui ont lieu journellement dans les couches atmosphériques voisines de la surface; mais elle change légèrement avec les saisons de l'année. A 25 ou 30 mètres de profondeur, la température de la roche demeure invariable pendant toute la durée de l'année, et l'observation a fait voir que, dans nos climats, cette température est égale à la moyenne des températures de la surface pendant une année entière, augmentée d'environ un degré. A des profondeurs plus considérables, la température de la roche est encore invariable, et croît, à mesure que l'on s'enfonce d'un degré centigrade à peu près pour des accroissements de profondeur de 20 à 30 mètres. Il résulte de là que les parois des excavations souterraines sont généralement plus chaudes en hiver et plus froides en été que l'air atmosphérique, et qu'il existe encore, dans les saisons intermédiaires du printemps et de l'automne, des différences accidentelles de température, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Concevons donc que ABCDEFGH représente un conduit souterrain. Soient T_0 la température de l'atmosphère, et t la température propre à la roche, qui forme les parois du conduit, et que l'on peut supposer la même partout à partir d'une fort petite profondeur au dessous de la surface. En hiver, on aura $t > T_0$. De l'air qui aurait séjourné longtemps dans le conduit, aurait pris la température t des parois: si les deux ouvertures H et A ne sont pas dans le même plan de niveau, il est évident que l'équilibre n'existera pas, et que l'air prendra un mouvement de l'ouverture la moins élevée H vers l'ouverture la plus élevée A. La hauteur motrice sera alors :

$$z \times \frac{1+0,00375\,t}{1+0,00375\,T_0} + h_4 - h_5 + h_2 - h_1,$$

expression positive, puisque t est plus grand que T_0. Pendant la circulation de l'air, l'air atmosphérique entrant par l'ouverture H s'échauffera peu à peu sous l'influence de la température plus élevée des parois. Arrivé au bas de la première section inclinée de la conduite dont la hauteur verticale est désignée par h_4, il aura pris une température supérieure à T_0, mais inférieure à celle des parois. Soit t' la température moyenne de l'air en mouvement dans cette première portion du conduit ; soient de même t'', t''', t'''' les températures moyennes de l'air dans les parties, dont h_3, h_2, h_1 expriment les hauteurs verticales respectives, et T_1 la température finale que l'air a acquise lorsqu'il est arrivé à l'orifice d'écoulement. Les

températures $t', t'', t''', t'''', T_1$ iront évidemment en croissant en s'approchant de la température t des parois, puisque nous supposons qu'il n'existe aucune autre cause d'élévation de température. La hauteur motrice sera alors :

$$z \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,T_0} + h_4 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t'} - h_3 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t''}$$

$$+ h_2 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t'''} - h_1 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t''''}.$$

On remarquera d'abord que, si la conduite présente un grand développement, et si le courant d'air est lent, la température finale T_1 différera fort peu de la température t de la roche. En même temps, les températures t', t'', t''', et t'''' allant en croissant, de façon que t' soit voisin de T_0, tandis que t'''' est presque égal à t, la hauteur motrice sera d'autant plus grande, que les portions de conduite dans lesquelles l'air circule en descendant, telles que DC, seront plus rapprochées de l'orifice H par lequel l'air entre, et qu'au contraire les portions où l'air circule en montant, telles que EF, seront plus rapprochées de l'orifice A par lequel l'air sort. Le cas le plus favorable à la circulation est donc celui où l'air descend d'abord par un puits vertical ou incliné à la plus grande profondeur des travaux, et circule ensuite dans une galerie contenue dans un plan horizontal, jusqu'au pied d'un puits vertical ou incliné, par lequel remonte le courant d'air échauffé. Dans ce cas, si la galerie est longue de façon que l'air ait pu acquérir, en la parcourant, une température presque égale à t, il est évident que la hauteur motrice sera plus grande à mesure que la circulation de l'air deviendra plus rapide, parce qu'alors il aura conservé dans le puits de descente une température plus basse. La circulation serait au contraire fortement ralentie, si l'air, après être descendu dans la première partie de la conduite souterraine, était obligé de remonter dans une partie voisine avant d'avoir pris une température élevée, pour redescendre plus loin à un niveau inférieur.

Si la différence de niveau z des orifices des deux puits était nulle, la hauteur motrice serait nulle dans l'origine, en supposant que la conduite fût entièrement remplie d'air, qui y aurait séjourné, et aurait pris la température t de la roche. Il n'y aurait en effet aucune raison pour que le courant s'établît dans un sens plutôt qu'en sens contraire. Mais si, par un moyen quelconque, on détermine le mouvement de l'air dans un sens, la circulation continuera indéfiniment d'avoir lieu

dans le même sens, sans qu'il soit nécessaire, pour l'entretenir, de continuer l'emploi du moyen dont on s'est servi pour donner la première impulsion. Cela tient à ce que le puits vertical ou incliné, par lequel l'air descend à l'entrée, se remplira d'air plus froid, tandis que le puits vertical ou incliné, par lequel l'air remonte, avant de sortir, demeurera plein d'air échauffé. Toutefois la circulation ne continuera qu'autant que la conduite souterraine sera terminée, à ses deux extrémités, par des parties verticales ou inclinées; cela n'aurait pas lieu pour une conduite entièrement horizontale, encore moins pour une conduite telle que celle représentée (*Pl.XXIII, fig.* 6), dans laquelle EF et CD seraient des puits intérieurs, supérieurs au niveau de la galerie horizontale AH. Si les puits intérieurs étaient au contraire creusés au dessous du niveau de la galerie AH (*Pl.XXIII,fig.*7), le courant déterminé par un moyen quelconque, dans les circonstances indiquées, persisterait d'autant mieux que le puits, où l'air descendrait, serait plus rapproché de l'orifice de la galerie, par lequel l'air extérieur pénètre, et que l'autre en serait plus éloigné.

Considérons au contraire ce qui arrivera dans le cas où la température atmosphérique T_0 sera plus élevée que la température t des parois de la conduite. En supposant la conduite entière (*fig.*5) remplie d'air à la température t, l'équilibre ne pourra exister qu'autant que les orifices A et H seront dans le même plan horizontal, et que l'on aura $z=0$. Si z n'est point nul, il est clair que l'air commencera à se mouvoir, mais en sens inverse du mouvement qui aurait lieu, si l'air intérieur était plus chaud que l'air extérieur. Le mouvement aura donc lieu de l'ouverture la plus élevée A vers l'ouverture la moins élevée H. La hauteur motrice, qui rompra l'équilibre, sera dans l'origine, l'air intérieur étant supposé stagnant:

$$h_1 - h_2 + h_3 - h_4 - z \; \frac{1+0{,}00375\,t}{1+0{,}00375\,T_0}.$$

Expression positive, puisque l'on a : $h_1 - h_2 + h - h_4 - z = 0$, et que t est supposé plus petit que T_0.

Lorsque le mouvement aura une fois commencé, l'air entrant par l'orifice A se refroidira dans le parcours de la conduite; et si l'on désigne par t', t'', t''', t'''', les températures moyennes de l'air en mouvement dans les portions respectives AB, CD, EF, GH de la conduite; par T_1, la température finale avec laquelle l'air sort par l'orifice H, on aura pour la hauteur motrice :

$$h_1 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t'} - h_2 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t''} + h_3 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t'''}$$
$$-h_4 \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t''''} - z \times \frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,T}.$$

Les températures t', t'', t''', t'''' et T_1 vont progressivement en diminuant et en se rapprochant de la température invariable t des parois. Si le développement de la conduite est très-long, la température finale T_1, ainsi que la température t'''', seront sensiblement égales à t. La hauteur motrice sera donc ici d'autant plus grande que les portions, telles que CD, dans lesquelles l'air circule en montant, seront plus rapprochées de l'orifice d'entrée A de l'air atmosphérique, et que les portions telles que EF, dans lesquelles l'air circule en descendant, seront plus rapprochées de l'orifice de sortie. Si la conduite se réduit à une longue galerie, dont l'axe soit contenu dans un plan sensiblement horizontal, aboutissant à deux puits verticaux ou inclinés, foncés sur ses extémités, on aura $h_2 = 0$, $h_3 = 0$, et la hauteur motrice, une fois le mouvement commencé, sera à peu près égale à :

$$h_1 \times \frac{1+0,00375\,t}{1+0,00375\,t'} h_4 - z \times \frac{1+0,00375\,t}{1+0,00375\,T_0}.$$

Comme t' est plus grand que t, cette hauteur motrice est moindre que celle qui a rompu l'équilibre dans l'origine, d'autant moindre d'ailleurs que la circulation est plus rapide.

Si l'on a $z = 0$, c'est-à-dire si les deux orifices A et H sont au même niveau, l'équilibre existera dans l'origine. Si on trouble cet équilibre, en imprimant à l'air qui remplit la conduite, un mouvement dans un sens ou dans l'autre, ce mouvement imprimé, se ralentira, et s'arrêtera bientôt. Car la hauteur motrice prise, en supposant que la circulation de l'air continue dans le même sens, prend alors une valeur négative, ce qui fait voir que l'action des forces dues à la gravité et aux variations de température, tend à ralentir et à éteindre le mouvement. On s'en rend compte en observant que la colonne d'air descendante dans le puits, par où l'air entre, est nécessairement plus chaude, et par conséquent spécifiquement moins pesante que la colonne d'air montante dans le puits de sortie. Cependant ceci n'aurait pas lieu si la conduite était formée (*Pl. XXIII, fig.* 8) de deux galeries horizontales et d'une petite longueur AC, FH s'ouvrant dans un même plan de niveau, et réunies par deux ouvrages montants, DC et FE, communiquant entre eux par une longue galerie horizon-

tale ou inclinée DE. Alors si le mouvement avait commencé dans le sens indiqué par les flèches dans la *fig.* 8, il persisterait dans le même sens, par la raison que la colonne d'air montante en CD serait plus chaude que la colonne d'air descendante en EF. En désignant la hauteur verticale des puits intérieurs, CD et EF par h, par t' et t'', les températures moyennes de l'air en mouvement dans ces puits intérieurs par T_1 la température de l'air sortant en H, qui diffère peu de la température de la roche, et par T_2 la température de l'air, la hauteur motrice serait :

$$-h\,\frac{1+0.00375\,T_1}{1+0,00375\,t'}+h\times\frac{1+0,00375\,T_1}{1+0,00375\,t''};$$

et comme t' serait nécessairement plus grand que t'', cette valeur serait positive. Elle aurait d'ailleurs une valeur numérique d'autant plus grande que le courant serait plus rapide.

Nous résumerons, ainsi qu'il suit, les déductions précédentes, sur les courants d'air naturels qui s'établissent dans une conduite souterraine, communiquant avec l'atmosphère par deux issues différentes.

Il s'établit un courant naturel dans une conduite souterraine de ce genre, toutes les fois qu'il existe, entre les deux issues, une différence de niveau en même temps qu'une différence de température entre l'air atmosphérique, et la roche qui forme les parois de la conduite. Cette dernière circonstance suffit, dans beaucoup de cas, sans le concours de la première, pour que le courant s'établisse. La température de la roche est d'ailleurs invariable, et égale ou supérieure à la moyenne des températures annuelles, observées à la surface.

(a) *Quand l'air extérieur est plus froid que la roche, comme cela a toujours lieu en hiver* :

1° L'air circule en entrant, par l'ouverture située au niveau le plus bas, et sort, après s'être échauffé, par l'ouverture la plus élevée;

2° Lorsque les deux ouvertures sont au même niveau, la moindre force suffit pour déterminer un courant dans un sens ou dans l'autre, et la circulation de l'air persiste dans le même sens, une fois qu'elle a commencé, pourvu que la plus grande partie de la conduite souterraine soit située à un niveau plus bas que celui des orifices aboutissants au jour. Il existe généralement des circonstances locales qui déterminent le sens du courant;

3° La disposition particulière des diverses parties de la conduite est plus ou moins favorable à l'activité de la circulation. La plus favorable est celle où le puits par lequel l'air entre, est approfondi jusqu'au point le plus bas des travaux, et où le parcours est horizontal, du fond de ce puits jusqu'au bas de celui par lequel l'air sort. La disposition la moins favorable est celle où l'air, après être descendu par le premier puits, remonte, pour redescendre ensuite une ou plusieurs fois, dans des puits intérieurs, avant d'atteindre celui par lequel il revient au jour. Si les deux ouvertures sont situées dans le même plan de niveau, il pourra arriver, dans ce dernier cas, que la circulation soit impossible.

(b) *Lorsque l'air extérieur est plus chaud que les parois des puits et galeries, comme cela a lieu souvent pendant l'été :*

1° L'air extérieur entre par l'ouverture la plus élevée, et sort, après s'être refroidi, par l'ouverture la plus basse;

2° Lorsque les deux ouvertures sont situées au même niveau, il ne s'établit pas de circulation naturelle, à moins que la conduite ne soit, en très-grande partie, creusée au dessus du niveau commun de ces deux ouvertures, comme cela est indiqué, par exemple, *fig.* 8.

3° La disposition des diverses parties des excavations est plus ou moins favorable à la circulation. La moins favorable est celle où le puits d'entrée de l'air descend au point le plus bas des travaux, qui se prolongent ensuite horizontalement jusqu'au bas du puits de sortie. La plus favorable est celle où l'air, après avoir parcouru une galerie, remonte par un puits intérieur à un niveau plus élevé, pour redescendre, à une distance assez considérable, par un autre puits intérieur. Les replis de la conduite dans le sens vertical favorisent la circulation, lorsque ces replis sont parcourus de façon que l'air monte avant de descendre. Les conditions les plus favorables à la circulation sont exactement l'inverse de celles qui lui sont favorables, lorsque l'air extérieur est plus froid que les parois des puits et galeries, et *vice versâ*.

Lorsqu'il ne s'établit pas naturellement un courant d'air continu dans une excavation à deux ouvertures, l'air ne s'y renouvelle que lentement, par suite de la propriété de diffusion, dont jouissent les gaz.

Influences des émanations gazeuses sur la circulation de l'air. — C'est en affectant le poids spécifique de l'air, que les variations de température produisent un courant continu dans une mine. Toutes les circonstances qui modifieront, comme le ferait une élévation ou un

abaissement de température, le poids spécifique, produiront des résultats semblables. Telles sont les émanations gazeuses qui viennent se mêler au courant d'air circulant dans des galeries de mines. Les variations dues à cette cause pourront être dans le même sens que celles qui sont dues aux changements de température, ou en sens contraire. Dans le premier cas, elles contribueront à activer le courant; dans le second, elles le retarderont, et pourront l'annihiler, ou même déterminer un courant en sens contraire. Les émanations de gaz moins denses que l'air, tels que la vapeur d'eau dont l'air se sature presque toujours, dans le parcours des galeries souterraines, et l'hydrogène proto-carboné, agiront dans le même sens qu'une élévation de température; les émanations de gaz plus denses que l'air, comme le gaz acide carbonique, agiront, au contraire, dans le même sens qu'une diminution de température, due à l'action des parois de la conduite.

Moyens de déterminer un courant d'air continu dans les mines.

Pour qu'une mine soit bien aérée, il faut qu'un courant d'air incessant et suffisamment rapide, venant du jour, circule dans toutes ses parties, afin d'entraîner au dehors les gaz nuisibles qui s'y forment continuellement. Ce courant peut-être déterminé par la seule influence des différences de poids spécifique entre l'air atmosphérique et celui qui remplit les galeries, combinée avec une disposition convenable de l'ensemble des excavations souterraines, et des ouvertures qui les mettent en communication avec le jour. On dit alors que l'aérage est naturel. Ou bien, il exige l'emploi d'une force motrice continuellement agissante. Alors l'aérage est dit artificiel.

On doit, autant que possible, disposer l'ensemble des travaux souterrains, et les puits et galeries aboutissant au jour, de telle sorte que la circulation de l'air ait lieu naturellement, et que la force motrice, quand on est obligé d'y avoir recours, vienne aider l'action des causes naturelles. C'est pourquoi nous examinerons d'abord les circonstances, qui sont, pour les excavations de diverses formes, favorables à l'aérage naturel.

Aérage naturel. Excavations à une seule ouverture; puits et galeries en creusement. — L'air se renouvelle dans toutes les excavations de ce genre, par suite de la propriété de diffusion dont jouissent les gaz, mais il arrive rarement que cela suffise pour que l'air y soit salubre. Le renouvellement a lieu avec plus de facilité, lorsque la différence de poids spécifique entre l'air atmosphérique et celui qui a séjourné quelque temps dans l'excavation, concourt avec la propriété

de diffusion, pour opérer le mélange. Si, par exemple, on creuse un puits vertical, et que les fissures de la roche ne laissent dégager aucun gaz d'une nature particulière, l'air se renouvellera en général assez abondamment pendant l'hiver, et difficilement, au contraire, pendant l'été. Dans l'hiver, en effet, l'air qui occupe le puits est moins dense que l'air atmosphérique, parce que, d'une part, il reçoit, des parois du puits de la chaleur qui élève sa température, et que de l'autre il se sature presque toujours d'humidité à cette température plus élevée. Il tend donc à monter dans l'atmosphère, en vertu de sa plus grande légèreté spécifique; il est remplacé par de l'air froid venant du dehors, qui s'échauffe, se sature d'humidité, et s'élève à son tour. S'il existe dans la roche des fissures qui laissent dégager de l'hydrogène proto-carboné, celui-ci, en se mêlant à l'air intérieur, le rendra encore moins dense, et favorisera par conséquent le renouvellement. Si, au lieu d'hydrogène carboné, il arrive par les fissures du gaz acide carbonique, l'effet inverse aura lieu, et comme l'acide carbonique est irrespirable à un haut degré, l'aérage naturel pourra devenir insuffisant, à une très-petite profondeur. Pendant l'été, le refroidissement dû à l'action des parois du puits rend l'air intérieur plus dense, et la diffusion s'opère lentement, à moins qu'un dégagement naturel assez abondant d'hyprogène proto-carboné ne vienne la favoriser : aussi l'air sera-t-il généralement insalubre dans cette saison, si l'excavation n'a pas de grandes dimensions, et une très-large issue.

L'aérage naturel d'un puits vertical est considérablement activé par des filtrations d'eau venant de la partie supérieure du puits, parce que les filets d'eau, en tombant, entraînent de l'air avec eux, et déterminent ainsi des courants descendants le long de la paroi à l'endroit où l'eau tombe, tandis que des courants ascendants s'établissent près de l'axe ou sur la paroi opposée. Enfin, plus les dimensions du puits sont grandes, et plus l'air s'y renouvelle avec facilité.

Si l'on creusait une galerie inclinée en montant, les circonstances favorables à l'aérage seraient inverses de celles que nous venons d'indiquer : il serait meilleur en été qu'en hiver; un dégagement de gaz acide carbonique ne le contrarierait point, tandis qu'un dégagement d'hydrogène proto-carboné le ralentirait beaucoup.

Dans une galerie horizontale dont la section transversale est un peu grande, il s'établit ordinairement deux courants en sens inverse, l'un à la partie inférieure, l'autre vers le faîte. En hiver, le courant d'air sortant est à la partie supérieure, tandis qu'un courant d'air plus froid, venant du jour, s'établit près du sol. L'inverse a lieu pendant l'été,

à moins qu'un dégagement d'hydrogène proto-carboné ne rende encore l'air intérieur moins dense que l'air extérieur, quoique celui-ci soit plus chaud. Ces deux courants s'établissent d'ailleurs d'autant plus nettement et plus facilement que la galerie a plus de hauteur et de largeur. On peut remarquer que, les divers points de l'embouchure d'une galerie horizontale se trouvant à des niveaux différents, il se passe ici quelque chose d'analogue au courant continu, qui s'établit dans une conduite communiquant avec le jour par deux ouvertures situées à des niveaux différents.

Cloisons établies dans les puits ou galeries, pour faciliter le renouvellement de l'air. — Lorsque l'aérage n'est pas suffisant dans un puits ou une galerie isolés, il suffit, pour l'activer, de les diviser en deux parties par une cloison en planches dont les intervalles sont bouchés avec de la mousse ou de la terre argileuse, et que l'on prolonge au fur et à mesure de l'avancement jusqu'au près du fond de l'excavation. L'un des compartiments dans lequel passent les ouvriers et les vases qui servent à enlever les déblais, est généralement plus grand que l'autre. Celui-ci peut être mis en communication avec une cheminée ou tourelle en maçonnerie qui s'élève à une hauteur de plusieurs mètres au dessus de l'orifice. Si c'est un puits dont il s'agit, la cloison sera établie dans un plan vertical parallèle à l'axe du puits. S'il s'agit d'une galerie, cette cloison sera encore parallèle à l'axe de la galerie, horizontale ou verticale. Dans le premier cas, elle pourra former un plancher sous lequel couleront les eaux filtrant des parois, tandis qu'on établira au dessus le chemin pour les ouvriers et le passage des brouettes ou chariots. Ce plancher devant avoir une grande solidité, sera établi sur des traverses horizontales appuyées sur les deux parois. La cloison pourra aussi être établie près du faîte de la galerie en laissant au dessous d'elle, comme sous un plafond, la voie de passage. Lorsqu'on est déterminé à construire un plancher solide avec voie de roulage par dessus, il est souvent utile de mettre le compartiment supérieur en communication avec la cheminée, et de laisser entièrement ouvert l'espace au dessous du plancher. Il est alors nécessaire de tenir la galerie supérieure au plancher fermée par une ou deux portes, qui ne s'ouvrent que pour livrer le passage aux ouvriers et aux chariots. La cheminée est établie en arrière des portes, et communique avec la galerie par un petit puits foncé sur sa direction. La *fig.* 9, *Pl. XXIII*, montre cette disposition; G est une galerie horizontale percée sur le flanc d'une montagne MN, F le bout de cette galerie, ABC le plancher horizontal qui se continue jusqu'en C à quelques mètres du fond; p, p' sont deux portes qui doivent être

tenues constamment fermées, et s'ouvrent seulement pour le passage des ouvriers et des chariots. On les place à une assez grande distance l'une de l'autre pour qu'un rouleur et son chariot, ou un train de chariots, quand le roulage s'opère de cette façon, puisse tenir dans l'intervalle qu'elles laissent entre elles, de sorte que, lorsqu'on ouvre la porte p', on ait déjà refermé la première. P est un petit puits surmonté d'une cheminée K. Si le puits P était suffisamment profond, cette dernière construction deviendrait inutile.

Lorsque la galerie que l'on veut aérer a une grande largeur, il peut être plus commode de la diviser en deux compartiments par une cloison verticale. Dans tous les cas, la division de l'excavation en deux compartiments en fait une véritable conduite allongée qui communique avec le jour par deux ouvertures. La cheminée a pour but d'élever l'une de ces ouvertures à un niveau supérieur à l'autre; une circulation continue d'air s'établit alors naturellement, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant la différence de température des parois de l'excavation et de l'air atmosphérique.

Caisses d'aérage. — On ne donne le plus souvent aux puits, et surtout aux galeries de mines, que de petites dimensions, dans un but d'économie ou de solidité. La nécessité de conserver un passage suffisamment large, pour le service de la mine, oblige à faire un compartiment beaucoup plus grand que l'autre, et quelquefois, surtout lorsque l'établissement de la cloison ne doit être que temporaire, on lui substitue une simple conduite en bois, composée de caisses carrées ou rectangulaires mises bout à bout. Chaque caisse est formée de quatre planches bouvetées et clouées; elles s'emboitent les unes dans les autres à la manière des portions de tuyaux de poêle, ainsi que l'indique la *fig.* 10, *Pl.. XXIII.* A, section d'une des caisses par un plan normal à son axe; B, section longitudinale de deux caisses mises bout à bout. Les joints des caisses sont calfatés avec des étoupes ou enduits de glaise. Cette conduite est placée dans un angle du puits ou de la galerie, suspendue à des crampons en fer s'il s'agit d'un puits, posée sur le sol ou suspendue près du faîte si c'est une galerie. En dehors de l'excavation, elle est mise en communication avec une cheminée. On se contente même souvent de prolonger la conduite en bois (*fig.* 10) en l'élevant verticalement de quelques mètres en dehors de l'excavation. Une tourelle en maçonnerie est préférable, parce que la température de ses parois intérieures est beaucoup moins affectée par la température de l'air extérieur.

Pour que l'établissement d'une cloison continue ou d'une conduite en planches soit efficace, la condition la plus importante est que la

section du compartiment étroit, isolé par la cloison, ou la section intérieure de la conduite soit aussi grande que possible. Il résulte, en effet, des formules données précédemment que le volume d'air qui circule dans une conduite augmente, toutes choses égales d'ailleurs, à mesure que la section est plus grande. On doit donc, sans se laisser influencer par le désir d'économiser sur la construction de la cloison ou de la conduite, disposer, pour l'établir, de la totalité de l'emplacement que l'on peut se ménager, sans trop gêner la circulation des ouvriers et des vases d'extraction (1).

Les moyens indiqués ci-dessus pour l'aérage d'une excavation isolée en voie de creusement, sont généralement efficaces et suffisants pendant l'hiver, lorsque l'excavation n'est pas très-étendue, et que la circulation n'est pas contrariée par un dégagement assez abondant de gaz d'une densité différente de celle de l'air atmosphérique, comme, par exemple, un dégagement de gaz acide carbonique sortant des fissures de la roche sur les parois d'un puits. Ils sont au contraire ordinairement insuffisants, dès que la température atmosphérique devient égale ou supérieure à celle des parois de l'excavation, à moins que l'aérage ne soit favorisé par un dégagement particulier de gaz, ou par la très-grande section de l'excavation principale, et de la conduite établie pour l'aérage.

Manches ouvertes du côté du vent, ou à l'opposé du vent.— Momentanément, on peut utiliser l'influence du vent, en surmontant l'orifice supérieur de la conduite ou de la cheminée par une manche en grosse toile, ouverte du côté d'où vient le vent, comme cela se pratique pour aérer les chambres basses des navires, ou pour amener de l'air dans l'espace où est établi le foyer des machines dans les bateaux à vapeur. Mais ce remède temporaire ne peut être donné comme un moyen sûr; il n'est applicable d'ailleurs que dans le cas où l'air frais descend par la conduite ou le tuyau d'aérage, ce qui est le cas le plus rare. Si l'air sort de la mine par cette conduite, il faut la terminer par une sorte de chapeau qui s'ouvre dans une direction opposée à celle

---

(1) On emploie quelquefois, au lieu de caisses en planches, des tuyaux de tôle ou même de zinc. Quand on emploie la tôle, il arrive presque toujours qu'on se laisse aller, pour éviter une trop grande dépense, à donner à la conduite un diamètre trop petit. Les conduites en zinc sont d'un très-mauvais usage dans les mines, à cause de la facilité avec laquelle elles sont percées par le moindre choc. Nous n'hésitons pas à conseiller l'emploi de conduites en bois dans tous les cas.

du vent. Ce dernier moyen a peu d'efficacité. Lorsque la circulation naturelle est insuffisante, il faut généralement y pourvoir par l'emploi d'une force motrice continue, et recourir à l'un des moyens d'aérage artificiel qui seront décrits plus loin.

Excavations communiquant avec le jour par deux ou plusieurs ouvertures.— Si l'excavation se réduit à un long boyau, débouchant au jour par ses deux extrémités, elle constitue une conduite unique, dans laquelle s'établira naturellement un courant d'air continu, toutes les fois que les deux ouvertures seront à des niveaux différents. Nous avons fait connaître les circonstances qui déterminent le sens du courant, et donné l'expression de la hauteur génératrice du mouvement avec assez de détails pour nous dispenser d'y revenir. Mais nous devons insister ici sur l'influence qu'exercent, toutes choses égales d'ailleurs, sur la circulation, la longueur et les dimensions de l'excavation. Pour fixer les idées, concevons qu'elle consiste en une galerie horizontale, aux extrémités de laquelle sont foncés deux puits verticaux. Si la longueur de la galerie G (*fig.* 11, *pl. XXIII.*) est très-grande, par rapport à la profondeur verticale des deux puits, si ceux-ci ont une section égale à celle de la galerie, ou plus grande, et si en même temps les variations de température de l'air, dans le parcours, sont comprises entre des limites peu étendues, ne dépassent pas, par exemple, 30 ou 40 degrés centigrades, les termes du dénominateur de la valeur de Q, dans la formule générale de la page 207 seront tous assez petits, par rapport à celui qui est introduit; par le frottement de l'air dans la galerie G; désignant par L la longueur de cette galerie, par A l'aire de sa section, par P le périmètre de cette aire, le dénominateur de la valeur de Q différera très-peu de :

$$\sqrt{26\frac{P}{A}\times\frac{L}{A^2}\,\frac{1+0{,}00375\,\frac{t'+t''}{2}}{1+0{,}00375\,T_1}}.$$

En supposant les températures t', t'' et T_1 identiques, on voit que le volume Q sera inversement proportionnel à la racine carrée de l'expression $\frac{P}{A}\times\frac{L}{A^2}$.

Si l'aire A était un cercle de rayon R, on aurait $A=\pi R^2$ et le périmètre P de cette aire serait la circonférence de rayon R égale à $2\pi R$. Le rapport $\frac{P}{A}$ serait donc égal à $\frac{2}{R}$. En général, on pourra poser

$\frac{P}{A}=\frac{2}{R}$, R étant une certaine longueur qu'on appelle le rayon moyen de la section de la galerie ; on aura alors :

$$\frac{P}{A}\times\frac{L}{A^2}=\frac{2}{R}\times\frac{L}{A^2}.$$

D'où l'on voit que le volume Q est proportionnel à l'aire A de la section, à la racine carrée du rayon moyen, et inversement proportionnel à la racine carrée de la longueur de la galerie. D'ailleurs, pour des sections de figures semblables, les rayons moyens sont entre eux comme les contours, ou comme les racines carrées des aires des sections.

De là les conséquences suivantes :

1° Dans des galeries de sections égales, et qui ne différeront que par la longueur, les volumes et les vitesses des courants d'air qui circuleront naturellement, sous l'influence des mêmes circonstances, seront inversement proportionnels aux racines carrées des longueurs. Ainsi, si la longueur d'une galerie est quadruple de la longueur d'une autre galerie de même section, le volume et la vitesse de l'air dans la première seront la moitié du volume et de la vitesse de l'air dans la seconde.

2° Dans des galeries de même longueur, mais de sections différentes, si le rayon moyen reste le même, les volumes d'air qui circuleront, sous l'influence des mêmes causes, seront directement proportionnels aux sections. Les vitesses de l'air seront les mêmes, puisque ces vitesses sont proportionnelles aux volumes, et en raison inverse des sections, et que le rapport des volumes aux sections demeure constant. Par exemple, supposons que, deux puits P, P′ (*fig.* 11, *pl.* XXIII), étant réunis par une galerie très-longue G, une circulation continue d'air s'établisse d'un puits à l'autre. Si les mêmes puits P, P′ sont réunis par deux galeries parallèles en tout semblables à la galerie G (*fig.* 12), le volume d'air total qui circulera dans les deux galeries G, G′, sera, dans les mêmes circonstances, sensiblement double du volume qui circule dans la galerie G (*fig.* 11), et par suite chacune des galeries G, G′ sera parcourue par un courant ayant à très-peu près même volume et même vitesse que le courant qui passait dans la galerie unique G, c'est-à-dire que les deux galeries G, G′ seront aussi bien aérées, sous l'influence des mêmes causes, que l'était une seule d'entre elles. Cette conclusion est fort importante. Elle subsiste, dans tous les cas où la profondeur des deux puits P, P′ est une petite fraction

du développement total de l'une des galeries G, G', qui les réunissent et que ces puits ont d'ailleurs une section égale ou plus grande que les sections réunies des deux galeries G et G', de sorte qu'on puisse négliger l'influence des résistances dues à l'action des parois des puits. Ces conditions se rencontrent dans les mines dont les travaux ont une grande étendue.

3° Dans des galeries de même longueur et de sections différentes, les volumes d'air qui circuleront sous l'influence des mêmes circonstances seront, en général, directement proportionnels aux produits des sections multipliées par les racines carrées des *rayons moyens*; et si les sections sont des figures semblables, les volumes seront proportionnels aux produits des sections par les racines carrées de leurs côtés homologues. Dans ce dernier cas, les volumes d'air croîtront plus rapidement que les sections, et par conséquent les vitesses du courant augmenteront dans le même sens que les volumes. Elles seront entre elles comme les racines carrées des côtés homologues des sections. Cette proposition est sujette aux mêmes restrictions que la précédente: elle n'est applicable qu'à des galeries très-longues, par rapport au développement des puits, ou bouts de galeries qui les mettent en communication avec le jour. On se tromperait beaucoup, si on voulait en faire l'application à des galeries souterraines d'une petite étendue, qui feraient partie d'un grand développement de travaux.

L'ensemble des excavations souterraines qui forment une mine ne se compose ordinairement pas d'une ou deux galeries parallèles, mais d'un grand nombre de galeries, percées dans différents sens, qui communiquent entre elles, et occupent une étendue superficielle plus ou moins considérable, dans le plan du gîte exploité. Quelquefois aussi l'exploitation s'étend à la fois sur plusieurs gîtes parallèles, ou qui se croisent. Dans tous les cas, il est nécessaire que l'air se renouvelle dans tous les lieux fréquentés par les ouvriers. Lorsque ces galeries ont une grande section et une longueur médiocre, si les deux issues par lesquelles elles communiquent avec le jour ne sont pas très-éloignées, et s'il n'y a pas de dégagement de gaz nuisibles venant des fissures ou des cavités de la roche, l'air se renouvelle ordinairement partout en quantité suffisante, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à des dispositions particulières. Il en est ainsi dans les mines de sel gemme de la Lorraine, du comté de Chester, et dans presque toutes les mines de houille du centre et du midi de la France, qui sont exemptes d'un dégagement d'hydrogène carboné, ou d'acide carbonique; la grande puissance des couches, dans ces

localités, permet de donner aux galeries de grandes dimensions, et les puits y sont fort rapprochés.

Portes destinées à ralentir la circulation de l'air dans certaines galeries. — Il arrive souvent, en hiver, lorsque l'aérage naturel est le plus actif, que le courant d'air serait trop vif, et gênerait les ouvriers dans les galeries qui mettent en communication directe les deux ouvertures allant au jour. On remédie à cela en plaçant dans les passages où le courant prend une vitesse gênante pour le travail, des portes qui, fermant mal, laissent libres des intervalles par lesquels l'air passe, et que l'on peut augmenter ou diminuer à volonté. On crée ainsi des rétrécissements à travers lesquels l'air prend une grande vitesse, et éprouve des résistances qui absorbent une partie de la hauteur génératrice du mouvement. Il y a diminution de la rapidité du courant d'air dans les galeries où ces portes sont placées; une portion de cet air reflue dans les galeries latérales où il passe en faisant un plus long circuit; enfin la masse totale d'air, circulant dans les travaux, est diminuée.

Cheminées construites pour activer l'aérage naturel. — Pour activer la circulation, due aux différences naturelles de température de la roche et de l'air atmosphérique, il suffit d'augmenter la différence de niveau entre les orifices d'entrée et de sortie de l'air. On atteint ce but en surmontant le puits dont l'orifice est le plus haut d'une cheminée, ou plutôt d'une tour en maçonnerie. Pendant la saison froide, lorsque l'air sort par l'orifice le plus élevé, la colonne d'air, qui s'élève dans l'intérieur de la tour, y conserve à peu près la température qu'elle a acquise dans le parcours des galeries souterraines, et la hauteur génératrice du mouvement est augmentée d'une quantité proportionnelle à toute la hauteur de la cheminée. Pendant l'été, le courant ayant lieu en sens inverse, ce moyen est beaucoup moins efficace, parce que les parois intérieures de la cheminée finissent par prendre, sous l'influence du courant d'air qui y descend, une température sensiblement plus élevée que celle des galeries souterraines, et qui s'approche de la température de l'air entrant. La section intérieure de la tour doit être suffisamment grande pour que le terme introduit au dénominateur de la valeur de Q (page 207), par le frottement de l'air qui y circule, n'influe pas d'une manière notable sur cette valeur de Q.

Lorsque les travaux d'une mine communiquent avec le jour par plus de deux ouvertures, l'aérage devient généralement d'autant plus facile à opérer que les ouvertures sont plus multipliées. Quand elles sont rapprochées les unes des autres, et que les galeries sont spa-

cieuses, la circulation naturelle y est presque toujours suffisante, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des dispositions particulières. Lorsqu'elles sont éloignées, et que les galeries ont un grand développement, on peut distribuer les travaux en divers groupes dont chacun est aéré par un courant qui va de l'une des ouvertures à une autre. La même issue peut d'ailleurs être commune à l'air entré par deux ou plusieurs orifices différents, comme aussi le courant d'air, qui est entré par une des ouvertures, peut se diviser en deux ou plusieurs branches, qui aboutissent à des issues diverses. Nous reviendrons sur ce sujet, que nous ne faisons qu'indiquer ici, dans la partie de ce chapitre, où nous traiterons de la distribution du courant d'air dans l'ensemble des excavations souterraines.

La température de l'air, dans les galeries des mines étendues, est généralement supérieure à celle des parois. — L'aérage naturel est toujours meilleur dans les climats tempérés ou septentrionaux, comme celui de la France et du nord de l'Europe, pendant l'hiver que pendant l'été. Cela tient, d'une part, à ce que la différence de température entre les parois des excavations et l'air atmosphérique est plus grande en hiver qu'en été, et, d'autre part, à ce qu'il existe toujours, dans les mines, d'autres causes qui élèvent la température de l'air qui y circule, de sorte que celle-ci est généralement supérieure à celle de la roche (1). Ces causes sont la présence des ouvriers, des

---

(1) Le 6 septembre 1837, j'ai trouvé la température du courant d'air qui aérait les travaux de la fosse n° 6, aux mines de houille du Grand-Hornu (Belgique), de 19 degrés centigrades. Le thermomètre que j'ai placé dans un trou de fleuret, qui avait été pratiqué une heure d'avance au front de taille située à 222 mètres de profondeur verticale, devant laquelle j'ai pris la température de l'air, n'a marqué que 16 degrés 1/2 centigrades. Ainsi l'air était à une température supérieure de 2 degrés 1/2 à celle de la roche. La température de l'air atmosphérique, près de l'orifice du puits d'entrée, était de 10 degrés 1/4 centigrades au moment où je descendis dans la mine, et de 19 degrés au moment où je remontais au jour.

Dans les premiers jours d'octobre 1837, j'ai trouvé la température du courant d'air qui passait sur le front d'une taille de la mine de houille de l'Espérance, près Seraing-sur-Meuse, de 21 degrés centigrades, tandis que le thermomètre placé dans un trou de fleuret pratiqué dans cette taille, n'a marqué que 19 degrés. La profondeur verticale de la taille au dessous de l'orifice du puits était de 444 mètres. La température de l'air atmosphérique près de l'orifice du puits d'entrée de l'air, était de 11 degrés. Sur le front d'une autre taille de la

feux allumés, et quelquefois les actions chimiques qui s'exercent sur les matériaux déposés dans les galeries. A cela il faut ajouter que l'air se sature toujours d'humidité, ce qui contribue à diminuer sa pesanteur spécifique, et agit comme le ferait une sur-élévation de température, c'est-à-dire pour favoriser la circulation en hiver et la ralentir en été.

Si les circonstances locales, qui tendent à diminuer le poids spécifique de l'air à mesure qu'il parcourt les travaux, n'existaient pas, et si la température de la roche était la seule cause qui déterminât le courant, nous avons vu que le sens de ce courant devrait être en été, inverse de ce qu'il est en hiver. Cependant il n'en est pas toujours ainsi. Dans quelques mines de houille des environs de Liége, qui sont aérées naturellement, et dans lesquelles il existe entre les puits d'entrée et de sortie de l'air une grande différence de niveau, augmentée encore par la construction d'une tour en maçonnerie sur le puits supérieur, le sens du courant demeure le même en été et en hiver. Il y a dans ces mines un dégagement d'hydrogène proto-carboné qui joue sans doute le rôle le plus important dans ce phénomène. Je n'ai pas constaté moi-même le fait, qui m'a été communiqué par M. A. de Vaux, ingénieur en chef des mines de la province de Liége.

L'aérage naturel est irrégulier par ce que les conditions qui le déterminent sont très-variables. Il est généralement insuffisant pour les mines étendues dans lesquelles les puits ne sont pas très-rapprochés l'un de l'autre, et l'on est obligé, pour y déterminer une circulation d'air suffisante, de recourir à l'emploi d'un des moyens suivants:

Aérage artificiel. Des appareils employés pour déterminer la circulation de l'air dans les mines, lorsque l'aérage naturel est insuffisant. Foyers d'aérage. — La variation de température que l'air subit dans le parcours des galeries souterraines est la cause déterminante de la circulation qui s'y établit naturellement. Pour l'activer, il suffirait d'augmenter par un moyen artificiel cette variation de température, de sorte qu'on serait conduit à établir au bas du puits par lequel l'air sortirait naturellement, un appareil capable d'affecter la température de l'air dans le même

---

même mine, plus éloignée du puits vertical d'extraction et de descente de l'air, la température de l'air était de 24 degrés. Je n'ai pas pris la température de la roche; mais elle était certainement tout au plus égale à 19 degrés, car cette taille était située à une moindre profondeur verticale, que celle où j'ai pris la température de la roche.

sens que les parois des galeries, c'est-à-dire d'échauffer l'air sortant ou de le refroidir, suivant que la température aurait déjà augmenté ou diminué dans le parcours des galeries souterraines. Mais cette imitation simple du procédé de la nature présenterait des inconvénients et des difficultés de plus d'un genre. D'une part, on n'aurait pas de moyen simple et économique de refroidir artificiellement le courant d'air; d'autre part, il faudrait changer, suivant les saisons, les procédés d'aérage en même temps que le sens du courant, et il serait impossible à toutes les époques de l'année ou même de la journée, de saisir le moment ou un procédé devrait être substitué à l'autre. Il y a au contraire un moyen facile et généralement économique d'élever la température d'un courant d'air; il consiste à faire passer sur un foyer en combustion le courant ou simplement une portion de l'air qui se réunit ensuite et se mêle, ainsi que les gaz chauds, produits de la combustion, au courant général. L'action d'un foyer semblable sera secondée pendant l'hiver par l'influence de la température des parois, par les sources de chaleur particulières qui existent dans les mines, par la vapeur d'eau dont l'air se sature. Elle sera contrariée, il est vrai, pendant l'été, par l'influence de la température des parois; mais la plupart des autres circonstances locales agiront encore dans le même sens que le foyer, et d'ailleurs la différence de température de l'air atmosphérique et des parois de la mine sera toujours moindre en été qu'en hiver, et d'autant moindre que les mines seront à une plus grande profondeur. On n'a donc jamais tenté, à ma connaissance, d'activer la circulation naturelle de l'air, dans les mines, par un abaissement artificiel de température; et les foyers destinés à élever la température de l'air sont au contraire un moyen commode et généralement en usage en toute saison. On les appelle foyers d'aérage.

Choix de l'emplacement du foyer d'aérage. — Le foyer d'aérage, pour avoir toute l'efficacité possible, doit être établi au bas du puits par lequel l'air sort de la mine, et remonte au jour après avoir parcouru les galeries souterraines.

L'établissement du foyer en dedans des travaux, sur un point éloigné du puits de sortie, aurait le double désavantage de rendre impossible le passage des ouvriers dans la partie des galeries comprise entre le foyer et le puits, et d'augmenter en pure perte les résistances au mouvement de l'air dues au frottement, par ce que l'élévation de température, en dilatant l'air, augmente sa vitesse. D'un autre côté, un foyer établi sur un point intermédiaire entre le fond du puits et la surface du sol, serait moins efficace que s'il était

placé au bas du puits; car la température due à l'action du foyer augmente la hauteur génératrice du mouvement d'une quantité proportionnelle à la hauteur verticale de la colonne d'air chaud comprise entre le foyer et l'orifice d'écoulement de l'air au jour. C'est donc une disposition très-vicieuse que celle des foyers situés à une petite profondeur au dessous de la surface, ou des toc-feux suspendus dans un puits peu profond, même quand ce puits est surmonté d'une cheminée en maçonnerie.

Les foyers doivent être établis à la plus grande profondeur possible, c'est-à-dire au bas du puits par lequel l'air sort; plus ce puits est profond, plus une même élévation de température communiquée à l'air est efficace. C'est ainsi que sont placés les foyers dans les grandes mines de houille du nord de l'Angleterre, et dans celles du département du Nord, en France.

Dispositions des foyers d'aérage et des puits de sortie de l'air échauffé. — Le foyer peut-être établi, ainsi que le représente la *fig.* 14, *Pl. XXIII*, dans le bout d'une galerie G, aboutissant au puits P, par laquelle arrive la totalité de l'air qui a circulé dans les travaux. Il consiste alors simplement en une grille horizontale posée à une élévation suffisante au dessus du sol de la galerie G, pour que les cendres et autres résidus solides de la combustion puissent être enlevés à l'aide de crochets et de pelles. Le combustible est chargé en *a* sur le devant de cette grille. Une grille basse *bc*, inclinée en arrière de façon à ce que son plan forme un angle obtus avec celui de la première, est destinée à retenir le combustible pour qu'il ne tombe pas en arrière. Ce genre de foyer doit être parfaitement dégagé sur le devant, et autant que possible en arrière; il est même convenable d'élargir la galerie G à l'endroit où il est placé, de façon que la surface libre pour le passage de l'air, y soit au moins aussi grande que celle de la galerie en avant.

Il est presque inutile de dire qu'il faut revêtir les parois et le faîte de la galerie, à l'endroit du foyer, et jusqu'à une petite distance en arrière, d'un bon muraillement en briques, et que si l'on est dans une mine de houille, il convient de placer le foyer dans une galerie creusée, non dans l'épaisseur de la couche mais dans le rocher, dût-on en pratiquer une exprès pour cet usage. La totalité de l'air, qui arrive par la galerie G, traverse l'emplacement du foyer, et le courant chargé des produits de la combustion, ayant acquis une température plus élevée, arrive au puits P par lequel il remonte au jour.

La disposition décrite ci-dessus est la plus simple, mais elle présente des inconvénients qui font qu'elle est rarement adoptée. Ainsi le

foyer intercepte la communication de la galerie avec le puits. Celui-ci ne peut donc servir ni à l'extraction des minerais, ni au passage des ouvriers; il est peu convenable, d'ailleurs, d'y placer des pompes d'épuisement, parce que l'eau élevée par les pompes refroidirait l'air chaud ascendant, que les fuites d'eau des tuyaux montants ou des bâches contrarieraient l'ascension de l'air, et qu'enfin les réparations aux pompes, qui sont toujours assez fréquentes, se feraient difficilement, à cause de la fumée et de la température élevée. Aussi cette disposition n'est adoptée que dans le cas où le puits P n'a pas d'autre usage que celui de servir à la sortie de l'air; alors, on peut augmenter l'effet du foyer, en surmontant ce puits d'une tour en maçonnerie, qui prolonge la colonne d'air chaud au dessus de la surface du sol. La section intérieure de cette tour doit être grande, pour que l'air ne soit pas obligé d'y prendre une trop grande vitesse, qui serait accompagnée d'une résistance considérable.

Foyers d'aérage établis latéralement à la galerie principale, dans une excavation spéciale. — Une disposition plus fréquemment adoptée consiste à établir le foyer, dans une excavation latérale au puits, pratiquée exprès, ou dans une galerie secondaire abandonnée, qui ne sert plus au roulage des minerais. La *fig.* 13 représente cette disposition. La galerie principale G demeure tout à fait libre. E est l'excavation dans laquelle est établi le foyer F. Elle communique avec la galerie G, par un boyau *hh*. C'est une galerie inclinée, qui partant de l'excavation E, va rejoindre le puits P, à une hauteur variable au dessus du fond. *p*, *p*, sont deux portes établies dans le boyau *hh*, qui ne ferment pas hermétiquement, et dans lesquelles on ménage de petites fentes pour laisser passer un filet d'air, qui se détache du courant général, et vient alimenter la combustion du foyer. La plus grande partie de l'air se rend au puits, en continuant de suivre la galerie G. L'air chaud et les produits gazeux de la combustion, montant par la cheminée inclinée C, se réunissent et se mêlent au courant ascendant dans le puits, qui reçoit ainsi le même acroissement de température que si la masse totale d'air eût passé sur le foyer. Dans l'un et l'autre cas, l'accroissement de température du courant est proportionnel à la quantité de chaleur produite par la combustion, et par conséquent à la quantité de combustible brûlé, et en raison inverse de la masse totale du courant d'air.

Avantages des foyers établis dans des excavations spéciales. — Avec le foyer latéral on peut utiliser le puits P et la galerie G pour le passage des ouvriers et l'extraction des minerais. Cette disposition permet aussi de régler plus facilement la combustion, en raison de

l'activité que doit avoir la circulation de l'air, puisque l'on peut augmenter ou diminuer le volume d'air arrivant sur le foyer. Elle offre surtout un avantage de la plus haute importance, et sur lequel nous devons insister d'une manière toute particulière, dans les mines où il se dégage du gaz hydrogène carboné. En effet, dans ces mines, il peut arriver que le courant d'air qui a parcouru les travaux, soit chargé, en arrivant au bas du puits de sortie, d'une quantité de gaz inflammable assez grande, pour que l'inflammation avec détonation pût avoir lieu au contact de la flamme. Dans ce cas, il y aurait une grande imprudence à diriger le courant d'air chargé de gaz inflammable, sur un foyer, et il semble d'abord que ce motif doit faire proscrire les foyers d'aérage dans les circonstances indiquées ci-dessus. Cependant on peut encore employer avec sécurité un foyer disposé latéralement, comme l'indique la *fig.* 13, en ayant soin d'alimenter la combustion avec de l'air non chargé de gaz, et de donner à la galerie C un développement assez grand, pour qu'aucune étincelle venant du foyer, n'arrive dans le puits où les gaz chauds se mêlent au courant vicié. Une longueur de 15 à 20 mètres suffit toujours pour cela, lorsque le combustible employé est de la houille. C'est avec ces précautions que les foyers d'aérage sont usités dans les mines du nord de l'Angleterre et de la France, où il y a dégagement de gaz inflammable.

Disposition des foyers dans les mines de houille du nord de l'Angleterre. — En Angleterre, dans les mines du Northumberland et du comté de Durham, le courant d'air arrivé au bas du puits d'entrée est subdivisé en plusieurs branches qui parcourent divers *quartiers* d'une mine étendue, lesquels sont isolés complétement les uns des autres, en ce qui concerne l'aérage, par des piliers de houille massive, des cloisons en briques ou des portes doubles fermant hermétiquement. Il n'arrive guère que tous les *quartiers*, dans lesquels les travaux souterrains sont ainsi subdivisés, soient également infectés de gaz inflammable. Les uns sont beaucoup plus dangereux que les autres. En conséquence, on emprunte à la branche du courant d'air qui a parcouru le quartier le moins infecté, la quantité d'air nécessaire pour alimenter la combustion du foyer d'aérage, tandis que les autres branches du courant, beaucoup plus chargées d'hydrogène carboné, viennent déboucher dans le puits de sortie de l'air, par une ou plusieurs galeries disposées à cet effet, et dont les extrémités sont à un niveau inférieur ou supérieur à l'orifice de la cheminée ou du conduit par lequel arrivent dans le puits les gaz chauds qui ont passé sur le foyer. La méthode de diviser une mine de houille en *quar-*

tiers isolés, de subdiviser le courant d'air en plusieurs branches, et d'alimenter le foyer avec l'air qui a parcouru les travaux situés dans le quartier le moins infecté, paraît avoir été introduite assez récemment dans les mines de houille du nord de l'Angleterre, par M. Buddle, célèbre inspecteur des houillères de ce pays, auquel l'art des mines est redevable de beaucoup d'autres améliorations également importantes.

Disposition des foyers d'aérage à Anzin. — Dans les mines de houille du nord de la France, exploitées par la compagnie d'Anzin, la combustion du foyer d'aérage, disposé latéralement au puits de sortie de l'air, n'est jamais alimentée par de l'air qui ait circulé dans des excavations, où se dégage de l'hydrogène carboné. L'air qui passe sur ce foyer, descend le plus souvent du jour par une série de petits puits, creusés à côté du grand puits vertical qui sert à l'extraction de la houille, en même temps qu'à la sortie de l'air; ces petits puits, appelés *beurtias*, contiennent les échelles par lesquelles montent et descendent les ouvriers, auxquels il est expressément défendu de se placer dans les bennes ou cuffats élevés par les machines d'extraction. Du pied du beurtia qui se trouve au niveau de la chambre du foyer, part une galerie qui conduit dans cette chambre l'air descendant du jour, avant qu'il ait circulé dans aucune galerie souterraine. La quantité d'air est réglée par deux portes, dans lesquelles on ménage des ouvertures suffisantes, et toujours très-petites. Les beurtias aux échelles ne sont d'ailleurs indépendants du puits principal que dans le terrain houiller. Sur toute la hauteur des terrains aquifères, qui dans les exploitations du Nord recouvrent celui-ci sur une épaisseur variable de 30 à 80 ou 90 mètres, ils sont remplacés par un compartiment séparé du puits principal par une cloison en planches, appelé *goyau* ou *royon*, qui se termine au dessous des trousses colletées et picotées formant l'assise fondamentale du cuvelage. Là, il est fermé par le bas, et mis en communication, par un bout de galerie, avec le beurtia supérieur.

Lorsqu'il existe des galeries aboutissant au puits de sortie de l'air, dans lesquelles il n'y a pas de dégagement d'hydrogène carboné, on se sert aussi à Anzin, pour alimenter la combustion, de l'air qui a circulé dans ces galeries.

Le principe de l'établissement des foyers d'aérage, dans les mines où il se dégage du gaz inflammable, est donc, dans les environs de Newcastle sur Tyne, le même qu'aux environs de Valenciennes (Nord). Son application bien entendue (et cela ne présente aucune difficulté) écarte tout danger d'inflammation sur le foyer d'un mélange explosif

d'air et de gaz inflammables, tant que les portes établies pour empêcher l'air chargé de gaz d'arriver sur le foyer, demeurent exactement fermées. C'est un devoir rigoureux pour le directeur d'une mine d'organiser à cet égard, comme en tout ce qui concerne la circulation de l'air, des mesures spéciales de surveillance, d'où peut dépendre le salut de la mine et de tous les ouvriers qui y travaillent.

De la température du courant d'air échauffé par les foyers d'aérage. — Lorsque les foyers sont établis au bas de puits profonds, et et d'une grande section (3 à 4 mètres de diamètre), de telle sorte que la colonne d'air chaud ascendante ait une grande hauteur verticale, et qu'un volume d'air considérable puisse s'écouler dans le puits, sans y prendre une vitesse supérieure à celle de 1 mètre à $1^m,50$ par seconde, lorsque d'ailleurs les galeries souterraines, où circule le courant d'air, ont des dimensions assez grandes et un développement qui n'est pas trop étendu, il est généralement suffisant que le foyer communique au courant d'air ascendant une température supérieure de 10 à 20 degrés centigrades à celle que possède l'air, en arrivant au bas du puits de sortie, de sorte que la température du courant d'air chaud ascendant ne dépasse guère 40 degrés centigrades. C'est à peu près là le maximum de température communiquée par les foyers d'aérage dans les grandes mines de houille de l'Angleterre et du nord de la France. Les puits par lesquels remonte l'air chaud peuvent alors servir comme puits d'extraction, et les ouvriers peuvent même y descendre et monter par les tonnes, sans être fortement incommodés par la chaleur ou la fumée.

50° à 68° Fah.

104° Fah.

Si la circulation déterminée par un tel accroissement de température était insuffisante pour l'assainissement des travaux, on pourrait l'activer en augmentant, soit la température de l'air ascendant, soit la hauteur du puits de sortie de l'air, que l'on surmonterait à cet effet d'une tour en maçonnerie. Nous discuterons successivement l'efficacité de ces deux moyens.

1° Les lois du mouvement de l'air, résumées par les formules données au commencement de ce chapitre, montrent qu'un accroissement de température de la colonne d'air chaud ascendante, au delà d'une limite assez basse, augmente assez peu la masse totale d'air qui circule dans les galeries, tout en exigeant un accroissement considérable de consommation de combustible sur le foyer d'aérage. Il est facile en effet de conclure de ces formules, que les masses d'air qui sortent par l'orifice du puits, lorsque la température de l'air chaud varie, toutes choses demeurant égales d'ailleurs, sont à très-peu près proportionnelles à l'expression :

$$\sqrt{\frac{T-t}{1+0,00375\ T}},$$

dans laquelle T est la température de l'air chauffé par le foyer, et t la température de l'air atmosphérique.

En effet, si nous désignons par H la profondeur du puits par lequel l'air sort, et au bas duquel est installé le foyer d'aérage, par T la température que l'air prend sur le foyer d'aérage, par t la température de l'air atmosphérique, et si nous admettons, d'une part, que l'air conserve, dans les galeries, la température t jusqu'à ce qu'il arrive au foyer d'aérage, et, d'autre part, que le développement des galeries soit fort grand par rapport à la profondeur du puits H, de sorte qu'on puisse regarder la résistance au mouvement de l'air dans le parcours des galeries comme beaucoup plus grande que toutes les autres résistances qu'il éprouve par suite du passage sur le foyer, et de la circulation dans le puits H, il est clair que le volume d'air sortant, dans une seconde de temps, mesuré à la température T, sera donné par la formule :

$$Q=4,429\sqrt{\frac{H\left(\frac{1+0,00375\ T}{1+0,00375\ t}-1\right)}{C\times\frac{1+0,00375\ t}{1+0,00375\ T}}}$$

dans laquelle C est un nombre qui dépend des dimensions et de la longueur des galeries parcourues, les hypothèses que nous avons faites permettant d'ailleurs de négliger au dénominateur de la fraction sous le radical, tous les termes qui ne sont pas multipliés par le rapport $\frac{1+0,00375t}{1+0,00375T}$. Or, pour ramener le volume d'air Q, de la température T à la température t de l'atmosphère, il faut le multiplier par le rapport $\frac{1+0,00375t}{1+0,00375T}$, et par conséquent en désignant par q le volume d'air ramené à la température t, on aura :

$$q=4,429\sqrt{\frac{0,00375H(T-t)}{C(1+0,00375t)}}.$$

H et C étant constants, ainsi que la température t, le volume q varie proportionnellement à $\sqrt{\frac{T-t}{1+0,00375t}}$, ainsi que nous l'avons dit.

On conclut de là que si $t = 10$ degrés, les masses d'air correspondantes à des températures T de 30, 40, 50, 60 et 100 degrés centigrades, seront respectivement proportionnelles aux nombres 43, 51, 58, 64, 79.

Les quantités de combustible brûlées, sur le foyer, pour obtenir ces diverses températures, seront d'ailleurs à peu près proportionnelles aux produits des masses d'air par l'accroissement de température que le foyer doit leur communiquer. Comme nous avons admis que l'air conservait la température t jusqu'au bas du puits de sortie, les accroissements respectifs de température, communiqués par le foyer, seront respectivement égaux à 20, 30, 40, 50, 90 degrés; et les quantités de combustible brûlées seront en conséquence respectivement proportionnelles aux nombres 86, 153, 232, 320, 711. On peut donc former le tableau suivant :

TEMPERATURE de l'air ascendant en degrés centigrades.	NOMBRES proportionnels à la masse d'air qui sort dans l'unité du temps, ou à l'activité de la circulation.	NOMBRES proportionnels aux quantités de combustible brûlées.
30	43	86
40	51	153
50	58	232
60	64	320
100	79	711

Les nombres inscrits dans la deuxième colonne de ce tableau, croissent lentement, et d'autant plus lentement que la température est déjà plus élevée, tandis que les nombres de la troisième colonne croissent très-rapidement, et suivant une loi d'autant plus rapide, que la température est déjà plus élevée. Ainsi, en portant la température de 30 à 100 degrés, on ne double pas la masse d'air entrante

dans l'unité de temps, et il faut augmenter la dépense de combustible, dans le rapport de 86 à 711, ou de 1 à 8 à peu près. En poursuivant l'application de la formule à des températures supérieures à 100°, on trouverait que l'activité de la circulation croîtrait de plus en plus lentement, tandis que la dépense de combustible continuerait à croître beaucoup plus rapidement que la température T. Les accroissements de consommation de combustible seraient encore bien plus considérables, si nous tenions compte de l'action des parois des galeries qui a déjà élevé la température du courant d'air, avant son arrivée sur le foyer. Il résulte de là :

1° Que les foyers d'aérage sont d'autant plus désavantageux sous le rapport économique, que la température qu'il faut communiquer au courant d'air ascendant, pour obtenir une circulation suffisante, est plus élevée.

2° Que, pour augmenter d'une manière notable l'activité de la circulation, il faut porter la température de la colonne d'air chaud à un degré très-élevé, et qu'au delà d'une limite assez basse, tout accroissement de température ne donne lieu qu'à un accroissement nul ou insignifiant dans la circulation. Il est d'ailleurs évident que plus la température est élevée, plus il y a de causes de pertes de chaleur; de sorte que dans les applications pratiques, le désavantage des foyers d'aérage produisant de hautes températures, est encore plus grand qu'il n'apparaît d'après la discussion précédente.

Enfin, si la température de l'air chaud dépasse 40 à 50 degrés centigrades, il devient à peu près impossible d'utiliser le puits de sortie de l'air pour l'extraction des minerais ou pour tout autre usage.

Nous conclurons de ce qui précède, que quand une température de de 40 à 50 degrés centigrades est insuffisante pour déterminer la circulation d'air nécessaire, ce serait un moyen peu convenable et même peu efficace d'y remédier, que de chercher à accroître la température de la colonne d'air chaud, en activant davantage la combustion sur le foyer d'aérage.

Influence de la profondeur du puits de sortie de l'air.— Si la profondeur du puits de sortie de l'air augmente, toutes choses demeurant égales d'ailleurs, et si en même temps la section du puits est assez grande pour que la résistance provenant du frottement de l'air contre ses parois, soit négligeable, par rapport aux autres résistances que l'air éprouve en circulant dans l'intérieur des travaux, il résulte des formules générales sur le mouvement de l'air, que la masse d'air sortante dans l'unité de temps, ne peut croître plus rapidement que la racine carrée de la profondeur du puits.

Ainsi, par exemple, si le puits de sortie de l'air, au bas duquel se trouve le foyer, a 200 mètres de profondeur verticale, et si l'on surmonte ce puits d'une tour en maçonnerie dont la section intérieure soit très-grande, les masses d'air correspondantes à des hauteurs de la tour, égales à 0, 20, 30, 40 et 50 mètres, seront, tout au plus, proportionnelles aux racines carrées des nombres 200, 220, 230, 240 et 250, c'est-à-dire aux nombres 141, 148, 152, 155, 158. Ainsi, lorsque le foyer est établi au bas d'un puits de 200 mètres de profondeur, si l'on surmonte ce puits d'une tour en maçonnerie de 50 mètres, ce qui est déjà une hauteur considérable, on n'augmentera la masse d'air qui entre dans les travaux, que dans un rapport moindre que celui de 141 à 158, ou de moins de 1/8 de la masse primitive.

Si au lieu de 200 mètres de profondeur, le puits de sortie de l'air en avait 300 ou 400, l'addition d'une tour en maçonnerie de 50 mètres augmenterait la masse d'air entrante dans les travaux, d'une fraction encore plus petite. Si la tour, au lieu d'avoir une section intérieure très-grande, et égale à celle du puits, ou au moins des galeries intérieures de la mine dans lesquelles l'air circule, avait une section beaucoup plus petite, et analogue à celle que l'on donne aux cheminées de chaudières à vapeur, cette addition pourrait bien ralentir la circulation au lieu de l'activer.

L'addition d'une tour rend impossible d'utiliser le puits pour l'extraction.

Cas dans lesquels il peut être utile de surmonter le puits d'aérage d'une cheminée. — En résumé, l'efficacité d'une tour en maçonnerie établie sur le puits de sortie de l'air, dans le but d'activer la circulation, est peu sensible lorsque la hauteur de la tour n'est pas plus du quart de la profondeur du puits. Dans ce cas même, la masse d'air entrante est seulement augmentée de moins d'un huitième, par l'addition de la tour. Encore est-il nécessaire, pour cela, qu'elle ait une section intérieure égale à celle du puits, ou au moins des galeries souterraines dans lesquelles l'air circule, sans quoi elle pourrait ralentir la circulation au lieu de l'augmenter. Comme, d'ailleurs, la construction de tours d'une grande section et de plus de 50 mètres de hauteur, occasionnerait des dépenses considérables, nous estimerons qu'on ne doit faire usage de ce moyen d'activer le tirage, que dans le cas où le puits de sortie au bas duquel le foyer est établi, n'aurait qu'une profondeur médiocre, qui n'atteindrait pas 200 mètres.

Dispositions vicieuses des puits d'aérage. Compartiments trop étroits.— On voit, dans quelques localités, une disposition très-vicieuse des foyers d'aérage, que nous devons signaler. La mine est

exploitée par un puits unique. Afin d'y faire circuler l'air, on isole du puits, par une cloison verticale construite en planches ou en briques, un petit compartiment qui doit servir à la sortie de l'air échauffé par le foyer d'aérage. Quelquefois même, au lieu d'une cloison, on se contente d'établir une conduite formée de coffres carrés s'emboîtant au bout les uns des autres, que l'on suspend avec des crampons en fer contre l'une des parois du puits; cette conduite sert de cheminée au foyer d'aérage, et c'est par là que doit sortir l'air qui a parcouru les travaux. Ceux-ci sont disposés de manière à former un circuit sinueux, aboutissant, par un bout, au bas du puits par lequel l'air descend, et par l'autre bout, au bas du compartiment ou de la cheminée en planches. Avec de semblables dispositions, on s'efforce d'activer la circulation, en donnant à l'air sortant une température fort élevée; malgré cela, elle devient insuffisante, pour peu que les travaux prennent d'étendue ou qu'ils soient infectés de mofettes, et la santé des ouvriers s'altère, parce que l'air n'est pas convenablement renouvelé. Il y a surtout une haute imprudence à n'avoir qu'un moyen d'aérage semblable, dans les mines qui sont infectées de gaz inflammable; s'il arrive en effet, qu'une détonation ait lieu dans quelque partie des travaux (et c'est un accident que l'on ne peut pas toujours éviter, malgré les plus grandes précautions), les gaz formés ou dilatés par l'explosion, refoulent le courant d'air du côté où se rencontrent le moins d'obstacles et l'issue la plus facile, c'est-à-dire vers le puits par lequel l'air descend; les gaz irrespirables remplissent ainsi toute la mine dans un temps très-court; il devient impossible d'y pénétrer, et tous les ouvriers périssent par asphyxie.

Mauvaise installation des foyers d'aérage usitée dans le Hainaut.—Une méthode presque aussi vicieuse consiste à établir le foyer, non pas au bas d'un puits profond, mais à une petite profondeur au dessous du sol, au bas d'un puits creusé exprès, et que l'on surmonte d'une tourelle ou cheminée de 40 à 50 mètres de hauteur. Ce petit puits communique par une galerie avec d'autres puits contenant les échelles pour l'entrée et la sortie des ouvriers. L'air descend par un puits large servant à l'extraction et remonte après avoir parcouru les travaux par les petits puits des échelles, d'où il passe sur le foyer d'aérage, et revient au jour par le puits et la cheminée qui le surmonte. Cette disposition est encore généralement usitée dans les mines de houille du Hainaut, où l'air sort par la cheminée à une température élevée, souvent supérieure à 100 degrés centigrades, ce qui n'empêche pas que la circulation d'air ne soit insuffisante pour l'assainissement des travaux.

Consommation de combustible sur les foyers d'aérage. — La quantité de combustible brûlée sur un foyer d'aérage, dans un temps donné, doit être évidemment à peu près proportionnelle au produit de la masse totale d'air échauffée par l'accroissement de température qui lui est communiqué. Nous avons fait voir qu'un même accroissement de température de l'air sortant par le puits P (*fig.* 11 et 12, *Pl. XXIII*), suffit pour déterminer des courants d'air de vitesses sensiblement égales dans une seule galerie G ou dans deux galeries G, G′ de dimensions égales, pourvu que les longueurs de ces galeries soient très-grandes par rapport à la profondeur des puits P, P′, de sorte que, quand le courant d'air est déterminé par la différence naturelle des températures de la roche et de l'air extérieur, deux galeries sont sensiblement aussi bien aérées qu'une seule par le moyen des puits P, P′. Si le courant d'air est déterminé par un foyer d'aérage établi au pied de l'un des puits, la consommation de combustible nécessaire pour aérer les deux galeries G, G′, sera précisément le double de celle qu'exigerait une seule galerie, l'accroissement de température demeurant le même.

Les foyers d'aérage sont généralement usités dans les exploitations de houille; leur établissement est simple et facile, leur entretien peu dispendieux quand ils ont été d'abord bien construits. La consommation journalière de combustible occasionne une dépense assez faible à cause du bas prix du combustible sur ces mines. Enfin ils permettent d'utiliser, pour l'extraction, le puits de sortie de l'air, lorsque la température n'y dépasse pas 40 à 50 degrés; ils sont d'autant plus avantageux que la profondeur du puits au pied duquel ils sont établis est plus grande, et que la température du courant d'air chaud ascendant, nécessaire pour obtenir une circulation d'air suffisante, est moins élevée. Si, par suite de la petite profondeur du puits ou d'autres circontances, on devait élever beaucoup la température de l'air, les foyers deviendraient alors désavantageux sous le rapport économique, et il serait préférable de leur substituer des machines soufflantes ou aspirantes. Lorsque le prix du combustible est élevé, ces dernières machines sont, dans tous les cas, beaucoup plus économiques que les foyers.

Résultats d'observations faites sur la circulation d'air déterminée par l'action des foyers. — Les observations suivantes, faites dans quelques houillères du département du Nord et du Hainaut, confirment les principes généraux qui viennent d'être développés, et donnent la mesure de l'effet qu'on peut attendre dans la pratique des foyers d'aérage. Les volumes des courants d'air circulant dans les ga-

leries ou puits ont tous été déterminés au moyen de l'anémomètre qui sera décrit plus loin.

Fosse Védette d'Anzin. — La fosse *Védette* servait, lors de mes observations, à l'extraction de l'eau au moyen de tonnes, et à la sortie de deux courants d'air venant l'un de la fosse *Pauline*, l'autre de la fosse *Sentinelle*. Une troisième branche descendait par le goyau et les beurtias de la fosse Védette. Le foyer d'aérage était établi latéralement au puits à la profondeur de 141 mètres, et sa cheminée débouchait dans le même puits à 120 mètres au dessous de la surface. Ce foyer consommait à très-peu près 500 kilogrammes de houille en vingt-quatre heures.

Le courant d'air venant de Pauline, après être descendu par le puits de ce nom, qui a 152 mètres de profondeur verticale, suivait une voie de traînage ou chasse de 362 mètres de longueur, circulait sur le front des tailles, revenait près du puits Pauline par une voie ménagée au dessus des tailles, et de là arrivait au pied de la Védette par une galerie étroite, tortueuse et mal entretenue, parce qu'elle allait bientôt devenir inutile, de 280 mètres de longueur. Le trajet total parcouru par cette branche, depuis l'orifice du puits Pauline jusqu'au bas de la fosse Védette, était à très-peu près de 1,288 mètres. La bande de houille exploitée et remplacée par des remblais dont le courant faisait le tour, avait une longueur de 362 mètres (longueur de la chasse) sur 92 mètres de largeur environ, ou 33,304 mètres carrés de superficie. Le volume d'air venant de Pauline a été trouvé de $1^{m.cub.},15$ par seconde.

Le courant d'air venant de la Sentinelle descendait par le puits de ce nom, profond de 135 mètres, et débouchait dans la fosse Védette au niveau de 141 mètres, après un parcours souterrain de 573 mètres de développement, dans une galerie dont la section était d'environ $0^{m.carr.},80$ (1 mètre de haut sur $0^{m},80$ de large). Le volume du courant d'air venant de la Sentinelle a été trouvé de $0^{m.cub.},96$ par seconde.

Enfin le volume d'air total remontant par la fosse Védette a été trouvé de $3^{m.cub.},81$ par seconde, volume probablement plus considérable que le volume réel. Quoi qu'il en soit, l'air arrivant des fosses Pauline et Sentinelle était à une température de 15,5 à 16 degrés centigrades. L'air chaud sortant par l'orifice de la Védette était à une température de 24 degrés lors de l'observation faite dans le puits, et j'ai vu cette température varier de 24 à 30 degrés. En admettant qu'il sortît $3^{m.cub.},81$ d'air par seconde à 24°, et sous la pression de $0^{m},7347$ de mercure, qui était celle qui avait lieu le jour de l'obser-

vation, on trouve que le poids de l'air sortant, supposé être de l'air atmosphérique, serait de 4kil.,44 par seconde, ou par 24 heures, de 383,616 kilogrammes. L'action du foyer élevait la température de cette masse d'air de 16 à 24 degrés, ou de 30 degrés au plus. Ainsi l'augmentation de température était de 8 à 14 degrés centigrades. Or, en admettant que la chaleur spécifique de l'air soit de 0,26, et que la combustion de chaque kilogramme de houille développe 7.000 unités de chaleur, on trouve que les 550 kilogrammes de houille brûlés en vingt-quatre heures fournissent une quantité de chaleur suffisante pour élever de 35 degrés centigrades la température de la masse d'air sortante. Il y avait donc, dans la fosse Védette, une perte considérable de chaleur, et cela tenait, sans aucun doute, à l'humidité des parois du puits, qui était constamment entretenue par l'eau tombant des tonnes d'épuisement qui y circulaient.

Fosse Ernest d'Anzin. — La fosse *Ernest* a une profondeur de 201 mètres. Le foyer d'aérage était établi à 184 mètres, et sa cheminée débouchait dans le puits à 160 mètres au dessous de la surface.

Au bas de la fosse Ernest débouchait un courant d'air venant de la fosse de la *Réussite*, qui, après être descendu par cette fosse, dont la profondeur était de 231 mètres, avait parcouru une suite de galeries d'un développement de 2.238 mètres. Le volume de ce courant d'air a été trouvé de 2m. cub.,07 par seconde, à la température de 16 degrés, et sous une pression de 0m,7636 de mercure.

Deux courants d'air venant de la fosse *Demmézières* avaient ensemble un volume de 1m. cub.,45 par seconde sous la pression de 0m,7612 de mercure, et à la température de 17 degrés. D'autres courants, qui ne m'ont point été indiqués, débouchaient encore dans la même fosse, indépendamment de celui qui descendait par le goyau et les beurtias d'Ernest, et dont une partie servait à alimenter la combustion du foyer.

Ce foyer brûlait par vingt-quatre heures environ 697 kilogrammes de grosse houille de Fresnes. Le puits était très-sec, et ne servait pas à l'extraction de la houille, lors de mes observations; le volume total du courant d'air chaud sortant par l'orifice du puits fut trouvé de 8m. cub.,1969 par seconde à la température de 32 à 37 degrés centigrades, et sous une pression de 0m,7573 de mercure. La température de l'air extérieur était de 20 degrés 1/4. Il résulte de là que le poids de l'air sortant par la fosse Ernest était, lors de mes observations, de 9kil.,975 par seconde environ, ou 861.840 kilogrammes par vingt-quatre. L'action du foyer élevait la température de cette masse d'air de 16 1/2 à 34 1/2, ou de 18 degrés centigrades moyennement. En cal-

culant d'après les mêmes bases que dans l'exemple précédent, on trouve que le combustible brûlé développait une quantité de chaleur capable d'élever de 22 degrés centigrades environ la masse d'air sortante. La perte de chaleur était donc ici assez faible et égale seulement à moins de 1/5 de la chaleur totale développée.

Fosses n° 3 et *n° 4 de Hornu et Wasme (province du Hainaut)*. — Le foyer de la fosse de la pompe n° 3 à Hornu et Wasmes est établi au bas d'un puits de 24m,78 de profondeur, et 1m,18 de diamètre, surmonté d'une cheminée dont le diamètre intérieur est de 0m,944. Ce foyer consommait par semaine 42 hectolitres de reffle (charbon pierreux de qualité inférieure) qui se vendait sur le carreau de la mine, en 1827, 5 francs le muid de 7 hectolitres. Le volume d'air dont ce foyer déterminait la circulation a été trouvé de 3m.cub.,23 par seconde.

Le foyer de la fosse n° 4 est établi au bas d'un puits de 26m,55 de profondeur, surmonté d'une cheminée. Ce foyer brûlait par semaine 77 hectolitres de reffle, et déterminait la circulation de 1m.cub.,95 par seconde. La température de l'air remontant par la cheminée du puits de la fosse n° 4, était de 45 à 50 degrés centigrades le jour de l'observation.

Le courant d'air descendant par la fosse d'extraction n° 4 a été trouvé de 2m.cub.,65 par seconde. Une partie de cet air remonte par le royon de la fosse n° 4, et va passer sur le foyer dont nous venons de parler en dernier lieu; l'autre partie suit une voie d'*exhaure* située à 265m,50 de profondeur, et longue de 957 mètres, et va se réunir au courant qui circule dans les travaux de la fosse n° 3 et remonte par la fosse de la pompe et le foyer d'aérage n° 3.

Il y avait, lors de mes observations, 55 ouvriers, occupés à la fois dans les travaux de la fosse n° 4, et l'on y brûlait par jour environ 21 kilogrammes d'huile.

La fosse n° 4 avait attiré, il y a quelques années, l'attention des ingénieurs des mines de la Belgique, parce que tous les ouvriers y avaient contracté la maladie anémique. On a attribué cela à la formation d'une petite quantité d'acide hydro-sulfurique qui serait développée par l'action exercée sur l'eau par les sulfures de fer que renferme la houille de la veine Grande-Béchée. Le directeur des travaux de Hornu et Wasmes, M. Al. Boty, à qui je dois les renseignements qui précèdent, m'a dit que les eaux de la mine avaient la propriété de faire développer sur la peau des individus un grand nombre de boutons volumineux qui ne disparaissaient quelquefois qu'un mois après.

Houillère de Belle-et-Bonne (territoire de Jemmapes), fosse n° 21. — Le foyer de cette fosse était établi au bas d'un puits de 31^{m},86, surmonté d'une cheminée de 30 mètres de hauteur. Le vide intérieur de celle-ci était une pyramide tronquée quadrangulaire. Le côté de la base inférieure était de 0^{m},90; celui de la base supérieure, de 0^{m},55. On brûlait journellement 6 à 7 hectolitres de reffle.

Le puits d'extraction avait une profondeur de 295^{m},60. Le trajet du courant d'air, dans le plan de la couche, était d'environ 1.833 mètres. Pour une extraction journalière d'environ 180 tonneaux de houille, cette mine occupait journellement 64 ouvriers à la veine, 42 traîneurs, et 94 ouvriers de toute espèce, chargeurs aux tailles, au bas du puits, balayeurs de voie, etc. On peut admettre qu'il y avait de 120 à 130 ouvriers dans la mine pendant le jour.

Le volume d'air total, remontant par le royon et le puits d'aérage, a été trouvé de 1$^{m.\,cub.}$,0552 par seconde, et j'ai lieu de croire cette estimation plutôt au dessus qu'au dessous de la réalité. Un thermomètre, suspendu dans le puits par où monte le courant d'air chaud, a indiqué une température de plus de 103 degrés.

Cette mine est certainement la plus mal aérée de toutes celles que j'ai eu l'occasion de voir. Cela vient de la mauvaise disposition du foyer et de la cheminée qui surmonte le puits d'aérage. La quantité de combustible brûlée était presque égale à celle que consommait le foyer de la fosse Ernest d'Anzin, pour déterminer un tirage huit fois aussi considérable.

Observations de M. Glépin.—Les observations suivantes sont dues à M. Glépin (Mémoire sur les appareils appliqués à la ventilation des mines, par Gabriel Glépin, ingénieur des mines de houille du Grand-Hornu).

Foyer de la fosse n° 3 du Grand-Buisson. — Les travaux de la fosse n° 3 du charbonnage du Grand-Buisson, à Hornu, servant à l'extraction de la houille aux profondeurs de 184 et de 266 mètres, sont aérés par un courant d'air, qui, après avoir circulé dans les travaux, passe sur un foyer établi dans l'une des parois de cette fosse, à la profondeur de 184 mètres.

Le courant ventilateur, après être descendu à la profondeur de 184 mètres, par la fosse aux échelles, attenante à la fosse d'extraction, se divise en deux branches, dont l'une, formant environ le quart du courant total, se rend dans les travaux établis à ce premier niveau, et l'autre continue à descendre jusqu'à la profondeur de 266 mètres, et pénètre ensuite dans les travaux établis à ce niveau inférieur.

La première branche, après avoir circulé dans une série de galeries sinueuses et assez mal entretenues, présentant un développement total d'environ 13 à 1.400 mètres sur une section moyenne de 1mèt. car.,44, vient déboucher dans la fosse d'extraction à la profondeur de 184 mètres.

La seconde branche, à son entrée dans les travaux du niveau inférieur, se subdivise en deux courants, dont l'un, après avoir circulé dans une galerie de roulage de 187 mètres de développement, et passé au front des tailles en exploitation, revient par une galerie tortueuse de 135 mètres de développement, se réunir au second courant qui, lui-même, depuis le point où s'est opérée la division, a parcouru environ 550 mètres de galeries irrégulières. La seconde branche ainsi composée, se rend par une galerie de roulage de 75 mètres de développement, et de 3mèt. car ,76 de section à la fosse d'extraction, dans laquelle elle débouche à la profondeur de 226 mètres. La section du puits d'entrée de l'air dans les travaux est de 5 mètres carrés, et celle du puits de sortie, de 15mèt. car.,21.

Le 4 février 1842, jour des observations de M. Glépin, le nombre d'ouvriers travaillant dans les travaux de la fosse n° 3 était de 200, et le volume d'air sortant par l'orifice de cette fosse, à la température de 30 degrés, et sous la pression 0m, 7685, de 6mèt. cub., 484 par seconde. La température extérieure était de 2 degrés, et celle de l'air intérieur, avant de passer sur le foyer, de 15°, 5; par conséquent, l'action du foyer élevait de 14°, 5 centig. la température de la masse d'air sortant par l'orifice de la fosse n° 3.

Si l'on considère cette masse d'air comme de l'air atmosphérique, son poids, à la température de 30 degrés ,et sous la pression de 0m, 7685, était de 7k, 651 par seconde, ou par 24 heures de 661, 046k, 4.

Or, la quantité de houille brûlée habituellement par le foyer, en 24 heures, étant de 700 kilogrammes, si l'on admet que la chaleur spécifique de l'air soit de 0,26, et que chaque kilogramme de houille développe par sa combustion 7.000 calories, on trouve que les 700 kilogrammes de houille brûlée par le foyer devaient fournir une quantité de chaleur suffisante pour élever de 28°5 centigr. la température de l'air sortant de la mine. La déperdition de chaleur était donc à peu près équivalente à la moitié de la chaleur totale développée par l'action du foyer.

Les parois de la fosse étant constamment très-sèches, la perte de chaleur précédente ne peut avoir lieu réellement, et doit être infiniment plus faible. En effet, le foyer étant établi à une distance assez considérable du fond du puits, et sa face inférieure inclinée sur celui-

ci, les 700 kilogrammes de houille correspondant à la somme des charges, pendant 24 heures, ne peuvent être brûlés complétement; mais une partie assez notable de cette quantité, encore incandescente, doit s'échapper inévitablement du foyer, en passant par les vides compris entre les barres de la grille, et en glissant sur sa face inférieure.

Frais de premier établissement.

Les frais de premier établissement d'un foyer analogue au précédent pourrait s'élever actuellement à 1.453 fr. 88 c., répartis comme suit:

	fr.	c.
Percement et muraillement d'une galerie de 8 mètres de long sur 2m,70 de hauteur et 2m,10 de largeur, pratiquée dans un schiste de moyenne dureté. Salaires.	907	60
32 kilogrammes d'huile de colza, à 1 fr. 46 c. l'un	46	72
12 kilogrammes de poudre, à 1 fr. 15 c. l'un. . .	13	80
45 hectolitres de chaux, à 80 c.	36	»»
16.000 briques ordinaires, à raison de 10 fr. le 1000	160	»»
1000 briques réfractaires, à raison de 75 fr. le 1000.	75	»»
12 barres de grilles, pesant ensemble 756 kil., à 21 c.	158	76
Objets divers.	56	»»
Total.	1453,	88

Frais de service.

La grosse houille demi-grasse, la même que celle brûlée par le foyer, se vendant actuellement sur le carreau de la mine 1 fr. 25 l'hectolitre, si de ce prix on retranche les frais qui s'ajoutent au prix de revient, depuis l'instant où la houille est amenée au foyer jusqu'à celui où elle est déposée sur le carreau de la fosse et livrée à la vente, on trouve que le prix de vente de la houille brûlée par le foyer est de 1 fr. 20 l'hectolitre. Les frais de service annuel du foyer s'élèvent alors actuellement à 5. 292 fr. 80 c., répartis comme suit:

	fr.	c.
Salaire de 2 surveillants, par 24 heures, payés à raison de 2 fr. chacun.	1460	»»
3194 hectolitres de houille, à raison de 1 fr. 20 c. l'un.	3832	80
Total.	5292	80

Foyer d'aérage de la fosse n° 2 du Grand-Buisson.—Les travaux de la fosse n° 2 du Grand-Buisson, servant à l'extraction de la houille aux profondeurs de 150 à 194 mètres, sont aérés comme ceux de la fosse n° 3, par un courant d'air qui, après avoir parcouru les travaux, sert en partie à alimenter la combustion d'un foyer établi latéralement au puits, à la profondeur de 117 mètres, et disposé de la même manière que ceux qui sont usités dans les mines d'Anzin.

L'air arrive au foyer par de petites ouvertures ménagées à la partie inférieure de portes en fonte établies sur le devant du foyer, et les gaz chauds provenant de la combustion se rendent dans la fosse d'extraction par une cheminée inclinée qui y vient déboucher à la profondeur de 103 mètres (1).

Le courant ventilateur descend jusqu'à la profondeur de 150 mètres, par la fosse aux échelles attenante à la fosse d'extraction, et se divise en deux branches.

La première pénètre dans les travaux établis à ce premier niveau, et la seconde continue à descendre jusqu'à la profondeur de 176 mètres, et se rend ensuite dans les travaux du niveau inférieur.

La première branche, après avoir parcouru une galerie régulière de 67 mètres de longueur sur 3$^{m.\ car.}$, 78 de section (2^{m}, 10 de largeur sur 1^{m}, 80 de hauteur), se subdivise en deux parties, dont l'une se rend, par une chasse régulière d'environ 342 mètres de développement sur 2$^{m.\ car.}$, 16 de section, au front des tailles en exploitation, et vient se réunir à l'autre partie, qui, depuis le point où s'est opérée la division, a parcouru environ 1, 100 à 1, 200 mètres de galeries étroites et irrégulières. La première branche, ainsi recomposée, se rend, par une galerie de 115 mètres de développement sur 3$^{m.\ car.}$, 78 de section, à la fosse d'extraction, dans laquelle elle débouche à la profondeur de 117 mètres, en passant en partie sur le foyer établi à cette profondeur.

---

(1) A l'époque de ces observations, la combustion du foyer construit récemment était alimentée par de l'air vicié dont la nature ne pouvait faire craindre aucun accident; mais M. Cabany, ingénieur des mines du Buisson, se proposait de faire, pendant l'été, entre les deux portes du foyer, un mélange inexplosible, composé d'une partie d'air vicié et d'une petite partie d'air pur détourné du courant descendant par la fosse aux échelles, au moyen d'un tube en tôle, afin de ne pas perdre inutilement une trop grande quantité d'air pur, en alimentant la combustion du foyer de la manière pratiquée à Anzin.

La seconde branche, à son entrée dans les travaux du niveau inférieur, se subdivise également en deux parties, qui viennent déboucher dans la fosse d'extraction, à la profondeur de 194 mètres, la première, après avoir parcouru une galerie tortueuse de 150 mètres de développement sur 3m. car.,78 de section, et la seconde, après avoir parcouru une galerie assez régulière de 274 mètres de développement sur 3m. car., 78 de section.

Le 4 février 1842, M. Glépin trouva le volume d'air sortant par l'orifice de la fosse n° 2, de 5m. cub., 320 par seconde, à la température de 33 degrés, et sous la pression de 0m,7685; la température de l'air extérieur était de 2° centig., et celle de l'air intérieur, avant son mélange avec les gaz chauds provenant de la combustion du foyer, de 13°,25. L'action du foyer avait donc élevé de 19°,75 la température de la masse d'air sortant par l'orifice de la fosse n° 2.

La quantité de houille brûlée par 24 heures étant de 560 kilogrammes, si l'on admet que chaque kilogramme de houille développe, par sa combustion, 7.000 unités de chaleur, et que l'on effectue les mêmes calculs que précédemment, on trouve que la quantité totale de chaleur produite par la combustion du foyer, pouvait élever de 28° centig. la température de l'air sortant de la mine, dont le poids, par seconde, était de 6k, 219, ou, par 24 heures, de 537321k,6.

La déperdition de chaleur, pour le foyer de la fosse n° 2, n'était donc équivalente qu'à 0,29 de la chaleur totale développée. Elle est généralement beaucoup plus faible, ajoute M. Glépin, et inférieure à 1/5 de la chaleur totale développée, comme celle observée par M. Combes, dans la fosse Ernest d'Anzin; car l'expérience a été faite vers la fin de la journée, à la sortie des ouvriers de la mine, c'est-à-dire dans un moment où la combustion du foyer n'était pas très-vive, et où les parois de la fosse étaient légèrement humides, circonstance qui n'a pas lieu pendant l'extraction de la houille, la couche de mort terrain, supérieure au terrain houiller, étant constamment asséchée, dans le voisinage de la fosse, par la pompe à eau froide de la machine à vapeur. M. Glépin trouva en effet, pendant le jour, la température de l'air sortant de la mine de 38 degrés au lieu de 33, et il présume que le volume correspondant à cette température n'était pas beaucoup plus faible que celui obtenu dans l'expérience précédente.

Frais de premier établissement.

Les frais de premier établissement du foyer de la fosse n° 2 s'élèveraient actuellement à 3.608 fr. 16 c., répartis comme suit:

	fr.	c.
Percement, dans un schiste moyennement dur, d'une galerie de 22 mètres de longueur, sur 2m, 10 de hauteur et 2,10 de largeur.	2124	»»
16,500 briques ordinaires, à 10 fr. le 1000. .	165	»»
1200 briques réfractaires, à 75 fr. le 1000. . .	90	»»
28 hectolitres de chaux, à 80 c. l'un. . . .	22	40
Salaires des maçons et de leurs aides, y compris leurs frais d'éclairage, et journées diverses.	1004	»»
1 porte en fonte, de 1m,20 de hauteur sur 0m,75 de largeur, pesant, avec son châssis, 110 kilog.	28	»»
1 porte en bois de même dimension, avec son châssis.	16	»»
12 barres de grille, de 1m,80 de largeur et de 0m, 08 sur 0m,06 d'équarrissage, pesant ensemble 756 kil., à 21 c. l'un.	158	76
Total.	3608	16

Frais de service.

Les frais de service annuel de ce foyer s'élèvent actuellement à 4. 526 fr., répartis comment suit:

	fr.	c.
Salaires de 2 surveillants, par 24 heures, payés à raison de 2 fr. chacun.	1460	»»
2.555 hectolitres de houille, à raison de 1 fr. 20 c. l'un.	3066	»»
Total.	4526	»»

Foyer du puits n° 10 du Grand-Hornu. — Les travaux du puits n° 10 du Grand Hornu, abandonnés depuis quelques années, viennent d'être repris, et sont actuellement en réparation. Ils sont aérés par un courant d'air, qui, à son retour, passe sur un foyer établi dans l'une des parois du puits, à la profondeur de 173 mètres.

Le courant d'air, après être descendu jusqu'à la profondeur de 180 mètres par le puits aux échelles attenant au puits d'extraction, se divise en deux branches. La première, à cette profondeur, parcourt environ 300 mètres de galeries étroites et irrégulières, et vient déboucher dans le puits d'extraction à la profondeur de 196 mètres.

La seconde branche continue à descendre par la fosse aux échelles jusqu'à la profondeur de 193 mètres, circule dans plusieurs galeries irrégulières et éboulées en partie, présentant un développement total

de 270 mètres, et vient ensuite également déboucher dans le puits d'extraction à la profondeur de 196 mètres. Enfin un second courant, descendu par le puits n° 9 jusqu'à la profondeur de 250 mètres, vient aussi déboucher dans le puits n° 10 à la profondeur de 196 mètres, après avoir parcouru 620 mètres de galeries irrégulières et éboulées, parce qu'elles ne sont plus entretenues ni fréquentées depuis longtemps.

Le 24 mai 1842, le foyer brûlait, par vingt-quatre heures, environ 698 kilogrammes de houille de qualité inférieure, et le volume d'air sortant par l'orifice du puits d'extraction à la température de 27 degrés et sous la pression de $0^m,7584$, était de $2^{m.cub.},337$ par seconde; la température extérieure de 15 degrés, et celle de l'air intérieur avant son arrivée au foyer de 16°,25. L'action du foyer élevait donc la température de l'air sortant de la mine de 10°,75 centigrades. Si l'on admet que chaque kilogramme de houille de qualité inférieure fournit par sa combustion 6.000 unités de chaleur, et que l'on effectue les mêmes calculs que dans les exemples précédents, on trouve que la chaleur perdue dans le puits n° 10, le jour de l'observation, était équivalente à 0,84 de la chaleur totale développée.

Cette perte énorme est due incontestablement à l'humidité continuelle des parois du puits, produite par les fuites d'eau qui ont lieu à travers les joints des cadres du cuvelage établi à la partie supérieure du puits, dans les couches du terrain crétacé qui recouvre le terrain houiller.

Le foyer est établi, dans l'une des parois du puits, à l'extrémité d'une petite galerie inclinée de 5 à 6 degrés, et dont l'autre extrémité, située dans la paroi opposée, à 2 mètres plus bas que la première, sert à recevoir les tonnes qui contiennent la houille destinée à l'alimentation du foyer et à conduire, sous la grille, le courant d'air nécessaire à sa combustion.

Frais de premier établissement.

Ce foyer, construit récemment, a coûté 1.378 fr.88 c., répartis comme suit :

	Fr.	c.
Salaires d'ouvriers employés au percement et muraillement de la galerie dans laquelle le foyer est établi.	907	60
52 kil. d'huile, à 1 fr. 46 c. l'un.	46	92
12 kil. de poudre, à 1 fr. 15 c. l'un.	13	80
A reporter. . . .	968	12

	Fr.	c.
Report.	968	12
16.000 briques, à 10 fr. le 1000.	160	»»
45 hectolitres de chaux, à 80 c. l'un.	36	»»
12 barres de grille, pesant ensemble 756 kil.. à raison de 21 c. l'un.	158	76
Divers objets.	56	»»
Total.	1378	88

Frais de service.

Les frais de service annuel du foyer s'élèvent actuellement à 3.915 fr., répartis comme suit :

	fr.	c.
Salaires de 2 surveillants, par 24 heures payés à raison de 1 fr. chacun.	730	»»
3.185 hectolitres de houille, à 1 fr. l'un. .	3185	»»
Total.	3915	»»

Foyer du puits n° 11 du Grand-Hornu.—Ce foyer, situé à 5 mètres au dessous de la surface, est mis en communication par une galerie de 9 à 10 mètres de longueur avec le puits aux échelles attenant au puits d'extraction. Il est surmonté d'une cheminée en briques de 41^{m},74 de hauteur et dont la section intérieure est un carré de 1^{m},20 de côté.

Abandonné complétement depuis plusieurs années, il a servi momentanément, en 1842, à déterminer, par son action, la circulation d'un courant d'air qui, après être descendu par le puits d'extraction à la profondeur de 241 mètres, et avoir parcouru 63 mètres dans une galerie de 4^{m}, 86 de section, se rendait par une galerie étroite et tortueuse de 217 mètres de longueur, sur le front de 6 gradins d'un développement de 72 mètres, parcourait ensuite une galerie de roulage de 426 mètres de longueur sur 1$^{m.carr.}$, 44 de section, passait au front de 11 gradins d'un développement de 300 mètres, et venait déboucher à 538 mètres de profondeur, par une galerie étroite de 510 mètres de long, dans le puits aux échelles, au sommet duquel était établi le foyer.

Voici le résultat de deux expériences faites sur le tirage produit par ce foyer, le 18 février et le 11 mai 1842.

Première expérience. Le volume d'air sortant par l'orifice de la cheminée à la température de 74 degrés et sous la pression de 0^{m}, 7683, était de 1$^{m.cub.}$, 880 par seconde. La température de cet air, dans la galerie qui met en communication le puits aux échelles avec

le foyer, était de 13°,5, et celle de l'air extérieur de 3 degrés, par conséquent l'action du foyer élevait la température de l'air sortant de la mine de 60°,5.

Le foyer brûlait, le jour de cette observation, environ 713 kilogrammes de grosse houille flénu de qualité inférieure, se vendant actuellement, sur le carreau de la fosse, 40 fr. les 44 hectolitres, et pesant 3.526 kilogrammes.

Le poids de l'air sortant de la mine, calculé comme si c'était de l'air atmosphérique, étant de $1^{kil.},93$ par seconde, ou de 166.752 kilogrammes par vingt-quatre heures, si on admet que 1 kilogramme de houille de qualité inférieure développe par sa combustion de 6000 calories, on trouve que les 713 kilogrammes de houille brûlée par le foyer pouvaient élever de 98°,5 la température de l'air sortant par l'orifice de la cheminée. La déperdition de chaleur pour ce foyer était donc à peu près équivalente à 0,38 de la chaleur totale développée par sa combustion.

Un manomètre à eau, inséré en un point de la galerie qui conduit l'air du puits aux échelles du foyer, indiquait un excès de pression de l'air extérieur sur l'air en mouvement dans cette galerie, mesuré moyennement par une colonne d'eau distillée de $0^{m},012$ de hauteur, à la température de 7 degrés. Le poids du mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau à la température de 3 degrés, et sous la pression extérieure de $0^{m},7701$, étant de $1^{kil.}$, 297, la colonne d'eau précédente est équivalente à une colonne d'air de $9^{m},25$ de hauteur.

Le volume d'air de la mine, réduit à la même température et à la même pression, étant de $1^{m.\,cub.},480$ par seconde, le travail utile du foyer était de $1,48 \times 1^{kil.},297 \times 9^{m},25 = 17^{kilo} \times^{m.},76 = 0,237$ de cheval-vapeur. Si l'on admet que les machines à haute pression, sans condensation, consomment à peu près 7 kilogrammes de houille de qualité inférieure par cheval et par heure, on trouve que la quantité de houille brûlée par le foyer du puits n° 11 était égale à celle qui serait nécessaire pour produire la vaporisation exigée par une machine de la force de 4 chevaux, 25; par conséquent le foyer peut être assimilé à un ventilateur dont le travail utile serait le même, et qui n'utiliserait que 0,055 du travail moteur dépensé pour le mettre en mouvement.

Deuxième expérience. Le jour de cette observation, à la température et sous la pression extérieures qui étaient : la première, de 16°,5 et la seconde de $0^{m},7564$, ce foyer débitait $1^{m.\,cub.},500$ d'air par seconde, et brûlait par vingt-quatre heures 671 kilogrammes de houille de qualité inférieure.

La température de l'air dans la galerie souterraine étant de 13°,5, si l'on effectue les mêmes calculs que précédemment, en admettant les mêmes bases, on trouve que la déperdition de chaleur était encore équivalente à 0,38 de la chaleur totale développée par la quantité de combustible brûlé (1).

L'excès de pression de l'air extérieur sur l'air en mouvement, dans la galerie souterraine, était mesuré par une colonne d'eau distillée de $0^m,01$ de hauteur, équivalente à une colonne d'air de $8^m,27$, le poids du mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau à la température de 16°,5, et sous la pression de $0^m,7564$, étant de $1^{kil.},208$. Le travail utile du foyer était de $1,5 \times 1^{kil.}, 208 \times 8^m,27 = 14^{kilo} \times^{m.},99 = 0,2$ de cheval vapeur.

La quantité de houille brûlée par le foyer était la même que celle qui produirait la vaporisation nécessaire à une machine de 4 chevaux; le foyer peut encore être assimilé à un ventilateur dont le travail utile serait le même et qui ne réaliserait que 0,05 de la force motrice dépensée.

Frais de premier établissement.

Les frais de premier établissement du foyer précédent s'élèveraient actuellement à 4.811 fr. 36 c., répartis comme il suit :

Cheminée de $41^m,74$ de hauteur.

	fr.	c.
$574^{m.\,cub.},49$ de maçonnerie, à 8 fr. l'un.	4595	92
Cordons et chapiteau.	50	»»
Total.	4645	92

Foyer et galerie de communication avec le puits des échelles.

	fr.	c.
$32^{m.\,cub.},40$ de déblais, à 50 c. l'un.	16	20
$10^{m.\,cub.},008$ de maçonnerie en briques ordinaires, à 10 fr. l'un.	100	08
6 barres de grille de $1^m,30$ de longueur sur $0^m,06$ d'équarrissage, pesant ensemble $234^k,10$, à 21 c. l'un.	49	16
Total.	165	44

(1) M. Glépin a omis d'indiquer la température de l'air chaud à sa sortie de la cheminée. On peut conclure des données et des résultats de calculs présentés dans le texte, que cette température s'est élevée à 74°, 88 centigrades.

Frais de service.

En admettant que le foyer brûlait moyennement 8,65 hectolitres par vingt-quatre heures, son service annuel coûtait 3.603 fr. 09 c. répartis comme suit:

	fr.	c.
Salaires de 2 surveillants, par 24 heures, payés à raison de 1 fr chacun.	730	09
3157hectol., 25 de houille, à 91 c. l'un. . . .	2873	»
Total. . . .	3603	09

Foyer d'aérage de la fosse n° 1 de Sauwartan. — Les travaux de la fosse n° 1 du charbonnage de Sauwartan-sur-Dour, étaient aérés : en 1841, par un courant d'air qui, à son retour, passait sur un foyer établi à la partie supérieure de la fosse aux échelles, à 3 mètres au dessous de la surface, et surmonté d'une cheminée en briques de 25m, 50 de hauteur sur 1m. car., 44 de section intérieure. Le courant ventilateur, après être descendu par la fosse d'extraction jusqu'à la profondeur de 288 mètres, circulait dans plusieurs galeries irrégulières de 258 mètres de développement sur 2m. car., 25 de section, et venait ensuite déboucher dans la fosse aux échelles à la profondeur de 288 mètres.

Le jour des observations de M. Glépin, à la température extérieure de 14 degrés et sous la pression barométrique de 0m,7381, le volume d'air débité par le foyer était de 1m. cube,974 par seconde, et le combustible brûlé par vingt-quatre heures de 14 hectolitres de houille sèche de première qualité. L'excès de pression de l'air extérieur sur l'air intérieur était mesuré par une colonne d'eau de 0m,01 de hauteur, équivalente à une colonne d'air de 8m,39, le poids de 1 mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau étant de 1kil.,19 à la température et sous la pression précédente, le travail utile du foyer était donc de 1,974×1kil.,19×8m,39=19kilom.,7=0,26 de cheval-vapeur.

Le poids de la houille brûlée par le foyer étant de 1084kil. par 24 heures, si l'on admet qu'une machine à haute pression, sans condensation, exige pour sa vaporisation 7 kilogrammes de houille de cette qualité par cheval et par heure, on trouve que la quantité de houille brûlée par le foyer est la même que celle correspondante à la combustion du foyer d'une machine à vapeur de la force de 6,45 chevaux. Ce foyer pouvait donc être assimilé à un ventilateur qui aurait produit

le même effet et qui n'aurait réalisé que 0,04 du travail moteur transmis.

L'insuffisance du courant d'air déterminé par la combustion du foyer pour l'assainissement des travaux de la fosse n° 1, l'a fait remplacer par une vis aspirante.

Frais de premier établissement.

Les frais de premier établissement d'un foyer d'aérage, analogue à celui de Sauwartan s'élèveraient actuellement à 3.478 fr. 45 c.

Cheminée de 25m,50 de hauteur.

	fr.	c.
405 mètres cubes de maçonnerie en briques, à 8 fr. l'un.	3240	»»
1 cordon en pierre de taille de Soignies. . .	30	»»
Une corniche, *id.*	20	»»
Ancres en fer, pesant ensemble 46 kil., à 50 c. l'un.	23	»»
Total. . . .	3313	»»
Construction d'un foyer analogue à celui du puits n° 11 du Grand-Hornu.	165	44
Total.. . . .	3478	44

Frais de service.

Les frais de service annuel de ce foyer s'élèveraient actuellement à 7.592 fr., répartis comme suit :

	fr.	c.
Salaires de 2 surveillants, par 24 heures, payés à raison de 2 fr. chacun.	1460	»»
5110 hectolitres de charbon, à 1 fr. l'un. . .	6132	»»
Total. . . .	7592	»»

Cheminée d'aérage de la fosse Sainte-Caroline à Sainte-Victoire. — Les travaux de la fosse Sainte-Caroline, du charbonnage de Sainte-Victoire, à Frameries, sont aérés par un courant d'air déterminé par le tirage de la cheminée de la machine à vapeur d'extraction, dont l'intérieur est mis en communication avec la fosse aux

échelles, par laquelle s'opère le retour d'air. Cette cheminée a 35 mètres de hauteur, et sa section intérieure est un carré de 1^m, 35 de côté. A l'époque des observations de M. Glépin, la force effective de la machine à vapeur était d'environ 35 chevaux, et le courant d'air descendu par la force d'extraction jusqu'à la profondeur de 249 mètres, après avoir parcouru environ 550 à 600 mètres de galeries tortueuses, venait déboucher dans la fosse aux échelles à la profondeur de 212 mètres. Ce courant a été trouvé de $2^{m \cdot c \cdot}$, 600 par seconde, à la température et sous la pression extérieures, qui étaient : la première, de 14 degrés, et la seconde de 0^m,7574.

L'excès de pression de l'air extérieur sur l'air en mouvement dans la galerie qui met en communication les puits aux échelles avec la cheminée, était mesuré par une colonne d'eau distillée de 0^m,007, équivalente à une colonne d'air de 5^m,75 de hauteur, le poids du mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau étant de 1^{kil}.22 à la température et sous la pression précédente.

Le travail utile produit par le tirage de la cheminée était donc de $2,6 \times 1^{kil.},22 \times 5_m,75 = 18^{kilom.},17 = 0,24$ de cheval-vapeur.

Cette cheminée vient d'être remplacée par un ventilateur à ailes planes.

Machines propres à déterminer la circulation continue de l'air dans les mines. — Toutes les machines soufflantes ou aspirantes peuvent servir à déterminer la circulation de l'air dans les mines. Le but que l'on se propose étant toujours de déterminer une circulation d'air dans une suite de vides allongés dont l'ensemble forme une conduite plus ou moins sinueuse, ouverte à ses deux extrémités, il peut être atteint, soit en lançant de l'air préalablement comprimé par un bout, soit en aspirant à l'autre bout, et rejetant dans l'atmosphère l'air aspiré. A part quelques circonstances particulières, qui seront indiquées plus tard, il est tout à fait indifférent, pour obtenir un bon résultat, de lancer l'air atmosphérique ou d'extraire l'air vicié, de souffler ou d'aspirer. Sous le rapport de l'économie de la force motrice, la théorie indique en faveur des machines soufflantes un léger avantage (*Voyez* mon deuxième mémoire sur le mouvement de l'Air, *Annales des mines*, 3e série, tome XII, p. 13); mais lorsqu'on en vient aux applications et à l'examen approfondi des circonstances de la pratique, on trouve que si l'on veut éviter les pertes de travail moteur, l'exécution de bonnes machines soufflantes présente des difficultés qui n'existent pas au même point pour les machines aspirantes.

Comparaison des machines d'aérage et des machines soufflantes employées dans les usines, sous le rapport des effets à produire. — Les conditions particulières des machines destinées à l'aérage sont les suivantes :

1° Elles doivent déplacer des volumes d'air considérables;

2° Elles ne doivent imprimer à ces masses d'air que de faibles vitesses;

3° Elles ne doivent augmenter que très-peu la pression de l'air qu'elles puisent dans l'atmosphère, si ce sont des machines soufflantes, ou dans la mine, si ce sont des machines aspirantes.

La plupart des machines soufflantes employées dans les usines déplacent au contraire des volumes d'air comparativement beaucoup moindres, et leur impriment des vitesses beaucoup plus grandes; par suite, elles doivent comprimer l'air qu'elles puisent dans l'atmosphère assez fortement pour que l'excès de la pression produise l'écoulement avec la vitesse nécessaire. Cette diversité dans les effets à produire entraîne une différence dans le système des appareils qu'il convient d'employer dans les deux cas. Nous citerons quelques exemples à l'appui des observations qui précèdent.

Machine aspirante à pistons de la houillère de l'Espérance. — La mine de houille de l'Espérance, près Seraing-sur-Meuse, en Belgique, est aérée par le jeu d'une grande machine aspirante à pistons, mue par une machine à vapeur dont la puissance est de 25 chevaux. Le volume d'air extrait de cette mine, calculé d'après le volume engendré par l'excursion des pistons sous une pression de 0^{m}, 7493 de mercure, et à la température de 13 degrés, serait de $9^{m.c.}$,0241 par seconde. Le volume réel est moindre à cause des pertes d'air et de l'espace nuisible de la machine à pistons; l'air arrive aux cylindres de la machine par deux puits verticaux, dont les sections horizontales ont une surface totale de 3,05 mètres carrés; ainsi, la vitesse de l'air ascendant dans ces puits est inférieure à 2^{m}, 95 par seconde. Enfin, l'excès de la pression atmosphérique extérieure, sur l'air en mouvement dans la galerie souterraine, qui conduit l'air des puits au dessous des cylindres de la machine aspirante, est mesuré par une colonne d'eau distillée dont la hauteur varie depuis 6,25 jusqu'à 9 centimètres, et est ainsi moyennement de 7.675 centimètres.

Voici, par opposition, les résultats des observations que j'ai recueillies sur la machine soufflante du haut-fourneau du Tronçais (Allier), marchant au charbon de bois. La machine se compose de deux caisses carrées en bois, dont les pistons sont mis en mouvement par une roue hydraulique. L'air foulé par les pistons est lancé dans le fourneau

par deux petites buses circulaires, dont le diamètre est de 0m,0556. Les pistons, lorsque j'ai visité la forge, faisaient chacun 12 excursions par minute. Je n'avais point de manomètre à ma disposition : le volume d'air fourni par cette machine, calculé d'après les dimensions des caisses et l'excursion des pistons, est de 0, 29815 mètre cube par seconde.

La vitesse de projection que l'on obtient en divisant le volume ci-dessus par la somme des aires des orifices des buses, est de 61m,45 par seconde.

Enfin l'excès de pression de l'air, dans l'intérieur des caisses, pendant le refoulement, sur la pression extérieure de l'atmosphère, conclu de la vitesse de projection ci-dessus sans avoir égard aux frottements, doit être mesuré par une colonne de mercure d'environ 1,82 centimètre, équivalente à une colonne d'eau de 26 centimètres.

Ces nombres ne sont qu'approchés, à cause des pertes d'air dont nous n'avons pu tenir compte; ils suffisent néanmoins pour faire ressortir les différences indiquées.

Dans les machines soufflantes des hauts-fourneaux alimentés avec du coke, un manomètre à mercure placé près des tuyères, accuse fréquemment un excès de pression intérieure de 10 à 11 centimètres de mercure, équivalente à 1m,36 ou 1m,50 en colonne d'eau. La vitesse de projection de l'air par les buses est donc encore beaucoup plus considérable qu'elle ne l'est au fourneau du Tronçais.

Il résulte des faits ci-dessus relatés, que les machines à piston habituellement employées dans les usines donneraient lieu, si on les appliquait à l'aérage des mines, à une perte de travail moteur, qui serait dans tous les cas une partie très-considérable du travail employé pour mettre les machines en mouvement, et qui pourrait égaler ou même surpasser le travail utilisé. En effet, l'air, à son entrée dans les cylindres des machines à piston, et à sa sortie des mêmes cylindres, doit traverser des orifices munis de soupapes, et prendre dans ces passages des vitesses très-supérieures à celle qu'il possède, ou qu'il doit conserver dans les galeries qui communiquent aux cylindres. Ces vitesses, qui sont à peu près entièrement perdues pour l'effet que l'on veut produire, ne peuvent avoir lieu sans une différence de pression entre l'air contenu dans les cylindres et l'air extérieur, laquelle augmente la force nécessaire pour mouvoir les pistons; dans le cas de l'aérage des mines, cette différence de pression, nécessaire pour faire passer l'air à travers les ouvertures garnies de soupapes, sera presque toujours égale, sinon supérieure, à l'excès de pression nécessaire pour produire le résultat que l'on

veut atteindre, c'est-à-dire pour faire entrer l'air atmosphérique préalablement comprimé dans les galeries souterraines, ou pour rejeter dans l'atmosphère l'air extrait des galeries, et qui aura été aussi préalablement comprimé. La suite de nos observations sur la machine de la houillère de l'Espérance justifie complétement ces assertions.

Nous avons déjà dit qu'un manomètre à eau distillée, inséré en un point du conduit souterrain qui amène l'air aspiré au dessous des cylindres de cette machine, a accusé un excès de pression de l'air atmosphérique sur l'air en mouvement de 7.675 centimètres en moyenne.

Nous avons inséré des manomètres à eau sur les deux cylindres dans lesquels se meuvent les pistons. Chacun de ces manomètres a indiqué l'excès de pression de l'atmosphère sur l'air entrant dans la cuve pendant la levée du piston, c'est-à-dire pendant l'aspiration, et ensuite l'excès de la pression de l'air intérieur sur la pression atmosphérique pendant la descente du piston, c'est-à-dire pendant que l'air est expulsé du cylindre et rejeté dans l'atmosphère. Le manomètre adapté à l'un des cylindres a fourni les résultats suivants :

Pendant l'aspiration, l'excès moyen de la pression atmosphérique sur l'air intérieur à été moyennement mesuré par une colonne d'eau de 115 millimètres de hauteur.

Pendant l'abaissement du piston, l'excès de la pression intérieure sur la pression atmosphérique a soutenu moyennement une colonne d'eau de 33 millimètres dans le manomètre.

Quant au second cylindre, la dénivellation de l'eau dans les deux branches du manomètre a été moyennement de 150 millimètres pendant l'aspiration, et de 30 millimètres pendant que l'air était rejeté dans l'atmosphère. (La grande différence entre les résultats observés sur les deux cylindres, qui d'ailleurs sont en tout semblables, tient à une fuite d'air très-sensible qui avait lieu entre le contour du piston et les parois du premier cylindre.) Il résulte de ces observations que l'air, aspiré et rejeté dans l'atmosphère par la machine de l'Espérance, a été moyennement comprimé dans la machine, depuis une pression inférieure à celle de l'atmosphère, de 152 1/2 millimètres d'eau, jusqu'à une pression supérieure à celle de l'atmosphère de 31 1/2 millimètres d'eau, c'est-à-dire que la compression, exercée par la machine, est mesurée par une colonne d'eau de 164 millimètres. Cependant la pression de l'air arrivant à la machine n'étant inférieure à celle de l'atmosphère, dans laquelle il doit être rejeté, que de 76,75 millimètres d'eau, il suffirait d'augmenter la pression de

l'air arrivant de cette dernière quantité pour obtenir le résultat réalisé par la machine à pistons de l'Espérance. Celle-ci commence par produire une raréfaction de l'air indispensable pour qu'il traverse les orifices garnis de soupapes ménagés dans les fonds des cylindres. Puis elle comprime l'air entré dans les cylindres au delà de la pression atmosphérique, afin qu'il sorte par les ouvertures garnies de soupapes ménagées dans les pistons. La compression totale ainsi exercée par les pistons de la machine sur l'air préalablement raréfié, est un peu plus du double de la compression strictement voulue pour l'effet à obtenir. Il en résulte que le double passage de l'air à travers des orifices garnis de soupapes occasionne à lui seul une dépense de travail moteur un peu supérieure à l'effet utile, et cela indépendamment de toutes les autres résistances passives inhérentes au jeu de la machine à pistons et de la machine à vapeur qui la met en mouvement.

Cependant les ouvertures, ménagées dans les fonds des cylindres et dans les pistons, sont grandes et multipliées, et la vitesse des pistons est très-modérée. Il y a en effet 16 grandes ouvertures dans chaque fond, et dans chacun des pistons dont la section est un cercle de $3^m,48$ de diamètre. La course des pistons est de $2^m,05$; chacun d'eux fait 14 excursions complètes (montée et descente) dans une minute, ce qui donne une vitesse des pistons inférieure à 1 mètre par seconde.

La machine à vapeur motrice est estimée avoir 25 chevaux de force. La pression de la vapeur dans la chaudière, les dimensions et la vitesse du piston, la quantité de combustible qu'elle brûle journellement, correspondent en effet à cette donnée. Or l'effet utile de la machine consiste réellement dans la compression du volume d'air extrait depuis la pression que cet air possède dans la galerie jusqu'à la pression atmosphérique extérieure, qui surpasse la première de 7.675 centimètres d'eau. Ces deux pressions étaient respectivement mesurées, le jour de l'observation, par des colonnes de mercure de $0^m,7534$ et $0^m,7590$. Le volume de l'air réellement déplacé par la machine était, d'après des expériences faites avec l'anémomètre qui sera décrit plus tard, de $8^{m.\ cubes},016$, sous une pression de $0^m,7492$ de mercure. Le travail utile est donc, suivant les principes connus de mécanique, exprimé par le produit :

$$8,016 \times 0,7492 \times 13598 \times \log \text{hyp.} \frac{7590}{7534} = 603,60 \text{ kilog.} \times \text{m.}$$

Ce nombre correspond à une force de 8,05 chevaux-vapeur, qui est moins du tiers de la force nominale et effective de la machine motrice.

Le travail utile est une fraction plus petite encore du travail mo-

teur dépensé dans les machines aspirantes à pistons, établies sur les houillères de *Sacré-Madame* et du *Monceau-Fontaine*, près de Charleroy. D'après mes observations, la première aspire et rejette dans l'atmosphère 3,83, et la seconde 6 mètres cubes par seconde. (Ces nombres sont trop forts d'au moins 1/10; car ils correspondent au volume engendré par les excursions des pistons.) Dans les deux mines, j'ai mesuré avec un manomètre à eau l'excès de la pression atmosphérique sur la pression de l'air qui arrive sous les cylindres; cet excès a été moyennement mesuré par une colonne d'eau de 5 centimètres de hauteur. Les machines à vapeur ayant respectivement la force de 10 à 20 chevaux, il en résulte que le rapport du travail utile au travail moteur est de 1 à 4 environ pour la machine de Sacré-Madame, et de 1 à 5 seulement pour celle du Monceau-Fontaine.

La *Pl. XXIV* représente une machine à pistons installée sur la Grande-Veine du bois de Saint-Ghislain, et construite dans les ateliers de Mme de Gorge au Grand Hornu. Le soin avec lequel les soupapes des pistons sont équilibrées diminue l'excès de pression nécessaire pour les soulever, et par conséquent les résistances passives de l'appareil, qui donne des résultats plus avantageux que ceux dont nous venons de parler. Les cylindres en douves de chêne de 0^m^,06 d'épaisseur sont cerclés en fer extérieurement. Les pistons sont garnis avec un boyau de cuir rempli de crin, ils sont en fonte, ainsi que les fonds des cylindres, et percés de dix ouvertures garnies de clapets en tôle. Ceux des pistons sont équilibrés par des contre-poids. On emploie, comme enduit, de l'eau chargée de savon. Le puits de sortie de l'air est couvert à son orifice par une voûte ou un plancher solide, et mis en communication par une galerie souterraine avec la chambre sur laquelle sont établies les cuves de la machine à pistons.

M. Gabriel Glépin a fait sur la machine du Grand-Buisson, semblable à celle de la Grande-Veine du bois de Saint-Ghislain, les observations suivantes. (*Mémoire sur les appareils appliqués à la ventilation des mines.*) « Le courant d'air mis en mouvement par le jeu » de la machine, après être descendu par la fosse n° 1 jusqu'à la profondeur de 300 mètres, parcourt une série de galeries tortueuses de » 1^m. car.^ 90 de section moyenne, d'un développement d'environ 1600 » à 1700 mètres, et vient ensuite déboucher à la profondeur de 243 » mètres dans le puits Gagane, dont la partie supérieure est mise en » communication avec les cylindres de la machine aspirante, par une » galerie de 34 mètres de longueur et 2^m. car.^,9054 de section.

» Le 17 décembre 1841, à la température de 3°,5, et sous la pres- » sion de 0^m^,7456 de mercure, le nombre d'excursions complètes de

» chaque piston était de 12,8, par minute, la longueur de la course » de 1^{m},90, le diamètre de 3^{m},55. Le volume engendré par l'excur- » sion des pistons était en conséquence de $7^{m.cub.}$,929 par seconde; » mais le volume d'air réellement débité par la machine (mesuré au » moyen l'anémomètre) n'était que de $5^{m.cub.}$,558. L'excès de pres- » sion de l'air atmosphérique sur l'air en mouvement dans la galerie » souterraine aboutissant aux cuves (déterminé à l'aide d'un mano- » mètre), était mesuré par une colonne d'eau dont la hauteur variait » uniformément depuis 0^{m},0577 jusqu'à 0^{m},218125 : il était donc me- » suré moyennement par une colonne d'eau de 0^{m},1379125, équiva- » lente à 0^{m},0101 de mercure. »

Le travail utile de la machine à pistons consistait donc réellement à comprimer $5^{m.cub.}$,558 d'air par seconde, depuis la pression de 0^{m}, 7335 de mercure jusqu'à la pression de 0^{m},7436. Ce travail est exprimé par le produit :

$$5,558 \times 0,7335 \times 13598 \times \log \text{hyp.} \frac{7436}{7335} = 750,20 \text{ kil. élevés à 1 mèt.}$$

Il correspond à 10, 11 chevaux-vapeur.

La puissance effective de la machine à vapeur est évaluée par M. Glépin, d'après des expériences faites directement avec le frein de Prony sur cette machine ou d'autres semblables, à 25 chevaux. Le rapport du travail moteur au travail utilisé était donc celui de 40,4 à 100. C'est là l'effet utile le plus avantageux que l'on ait retiré des machines à pistons établies en Belgique. Pour d'autres machines, cet effet a varié de 25 à 40 p. 100 du travail moteur.

M. Glépin évalue ainsi qu'il suit les frais d'établissement de la machine à vapeur et de la machine aspirante du Grand-Buisson :

	fr.	c.
Construction de la machine à pistons et de sa machine à vapeur de la puissance de 25 chevaux, avec deux chaudières.	42.486	»
Construction du bâtiment qui recouvre les deux machines.	11.423	40
Construction des fourneaux des chaudières et d'une cheminée en briques de 15 mètres de hauteur sur 0^{m},72 de diamètre intérieur.	6.656	»
Percement et maraillement de la galerie qui conduit l'air du puits sous les cylindres de la machine aspirante.	2.971	80
Total. . . .	63.557	20

Les frais de service et d'entretien de cette machine s'élèveraient annuellement à 12.917 fr. 70 c., ainsi qu'il suit :

	fr.	c.
Salaires d'un machiniste et d'un chauffeur, payés par jour, le premier, 2 fr. 50 c., et le second 2 fr.	1642	50
Salaire d'un chauffeur-machiniste pour la nuit, à raison de 2 fr. 50 c.	912	50
16,425 hectol. (3600 kilog. par jour de 24 heures) de houille menue de moyenne qualité, à 50 c.	8212	50
1095 kilogrammes savon noir pour enduire les pistons de la machine aspirante, à 70 c. le kil.	766	50
89 kilogr. d'huile épurée, à 1 fr. 35 c. le kil. .	120	15
78 kilogr. huile pied de bœuf, à 1 fr. 15 le kil. .	89	70
383 kilogr. suif, à 1 fr. 15 c. le kil.	432	79
Dépenses diverses et réparations.	741	06
Total. . . .	12.917	70

Ventilateurs à force centrifuge. — Le ventilateur à force centrifuge a été fréquemment usité pour aérer les lieux d'habitation, les salles de réunion, des hôpitaux, etc. En Allemagne, on s'en sert très-souvent pour aérer des mines et surtout des bouts de galerie d'une longueur médiocre; on l'a employé tantôt comme machine soufflante, tantôt comme machine aspirante. Cette machine, dont on trouve la description dans plusieurs ouvrages français et étrangers (*Physique de Désaguliers*, *Principes d'hydraulique et de pyrodynamique de Dubuat*, *die Gruben wetter*, *par le docteur Aloys Wehrle*), permet de déplacer de grands volumes d'air, en les comprimant très-peu; mais le ventilateur à ailes droites, tel qu'il a été construit jusqu'ici, a l'inconvénient d'imprimer à l'air une grande vitesse, égale au moins à celle de l'extrémité des ailes, et tout à fait inutile au but qu'on se propose. En outre, l'air, à son entrée dans les compartiments formés par les ailes, est choqué par celles-ci, ce qui occasionne une résistance notable en pure perte pour l'effet utile. J'ai cherché à éviter ces inconvénients par une meilleure construction du ventilateur à force centrifuge, qui est en définitive une variété des machines à réaction, étudiées autrefois par Euler, dont les recherches sur ce sujet sont consignées dans trois mémoires imprimés dans la collection de l'Académie de Berlin. Les figures 1 et 2, *Pl. XXV*, représentent le ventilateur à force centrifuge modifié. Cet appareil peut être installé directement au dessus du puits de sortie de l'air, qui est alors couvert par une voûte ou un plancher où l'on a ménagé une

ouverture circulaire correspondante à l'orifice central du ventilateur. La machine est supportée par un axe vertical en fer forgé, autour duquel elle reçoit un mouvement de rotation imprimé par une courroie. On n'a représenté dans les *fig.* 1 et 2 que des demi-sections de la machine, par des plans conduits, l'un suivant l'axe, l'autre perpendiculairement à l'axe de rotation. Les six ailes courbes *ab*, *ab*, sont fixées par le haut aux bords du disque énarbé sur l'axe vertical, et supportent une couronne plate annulaire *cc cc*, dont la face supérieure est dans le plan de l'orifice du cylindre, ou collet fixe DD, ajusté sur l'ouverture ménagée dans la voûte qui couvre le puits. Pour prévenir les fuites d'air par le jeu annulaire compris entre la partie mobile *cc* et la paroi extérieure du cylindre fixe DD, j'ai essayé d'ajuster en dessous de la couronne *cc* un cylindre en tôle *ee*, qui plongeait dans une gouttière fixe circulaire *ff ff*, où l'on versait de l'eau. La profondeur de cette gouttière devait être assez grande pour que l'eau qui éprouvait de part et d'autre du cylindre mobile *ee*, une dénivellation déterminée par la différence de pression entre l'air extérieur et l'air en mouvement, aspiré par le ventilateur, ne se déversât pas par dessus les bords de la gouttière. Une profondeur de 12 à 15 centimètres suffirait toujours dans les mines.

Lorsqu'on imprime au ventilateur un mouvement de rotation dans le sens *xy*, l'air qui remplit un des espaces compris entre deux ailes ou cloisons courbes consécutives, ne peut être entraîné dans le mouvement circulaire de la machine ; il est évidemment forcé de s'écarter de l'axe de rotation, en glissant sur la convexité de l'aile qui vient envahir l'espace qu'il occupait. Il résulte de là un vide relatif, une aspiration vers la circonférence décrite par les extrémités *a*, *a* des ailes, vide qui tend à être incessamment rempli par l'air affluent par l'ouverture centrale, qui, une fois engagé dans les compartiments formés par les ailes, est à son tour forcé de s'avancer vers la circonférence extérieure, où il s'écoule au dehors. L'air doit sortir sous une pression égale à celle de l'atmosphère qui baigne le pourtour du ventilateur, et comme il glisse, dans son mouvement du centre à la circonférence, sur la convexité des ailes, il possède évidemment une vitesse absolue, qui est la résultante de la vitesse imprimée aux extrémités *b*, *b* — des ailes, et de la vitesse relative avec laquelle il glisse sur elles, au moment où il arrive à leur extrémité. En courbant les ailes de façon qu'elles soient tangentes à la circonférence extérieure du ventilateur, les deux composantes de la vitesse absolue d'écoulement de l'air sont directement opposées, et celle-ci est alors égale à leur différence. Les

résistances passives du ventilateur ainsi construit sont d'ailleurs, indépendamment des frottements entre les parties solides de l'appareil, les frottements de l'air en mouvement contre les ailes et contre la face inférieure du disque, le frottement de la face supérieure du disque contre l'air atmosphérique, et les résistances au passage de l'air du cylindre fixe DD dans les espaces compris entre les cloisons courbes, au nombre desquelles on doit comprendre les remoux occasionnés par la rencontre de ces cloisons et des filets d'air, qui arrivent avec des vitesses dirigées sensiblement suivant les rayons aboutissants à l'axe de la machine.

Théorie mathématique du ventilateur. — Soient :

r et r_1 les rayons intérieur et extérieur de la machine;

h_1 la pression de l'air atmosphérique exprimée par la hauteur d'une colonne d'air mis en mouvement par le ventilateur, considéré comme incompressible.

h_0 la pression de l'air dans la capacité avec laquelle le ventilateur communique par son ouverture centrale, exprimée aussi en colonne d'air.

h' la pression de l'air en mouvement, à son passage du cylindre DD dans les compartiments formés par les ailes, exprimée de même en hauteur d'air.

v la vitesse absolue de l'air, au moment où il va pénétrer dans les mêmes compartiments, vitesse qui est dirigée suivant les rayons aboutissants à l'axe fixe de rotation.

u_0 la vitesse relative de l'air entrant par rapport aux ailes mobiles.

u_1 la vitesse relative de l'air, au moment où il est arrivé à la circonférence extérieure du ventilateur, et où il abandonne la machine.

w la vitesse angulaire imprimée à l'appareil.

Admettons pour un moment que la vitesse absolue de l'air n'éprouve aucun changement brusque au moment où il passe du col fixe DD dans les compartiments du ventilateur. Cela est évidemment possible, car il suffit que la vitesse v, dirigée suivant un rayon tel que Oa, soit la résultante de la vitesse u_0, dirigée suivant la tangente à l'origine d'une aile et de la vitesse wr_0, dirigée suivant la tangente à la circonférence de rayon r_0, avec laquelle l'origine de cette aile est emportée, dans le mouvement de rotation imprimé à la machine. Négligeons en outre pour un instant toutes les résistances passives dues au frottement de l'air. Les principes de la mécanique fournissent sans difficulté les équations du mouvement.

D'une part, la vitesse v de l'air est déterminée par l'excès de la

pression h_0, qui a lieu dans l'espace où l'air est puisé, sur la pression h' qui a lieu dans l'air en mouvement à la circonférence intérieure du ventilateur. On a donc, en désignant par g la gravité, et considérant l'air comme un liquide, ce qui est permis ici, à cause des faibles variations de pression et de densité qu'il subit :

$$v^2 = 2g(h^0 - h'). \qquad (1)$$

Le principe des forces vives, dans le mouvement relatif, fournit ensuite entre les vitesses relatives u_0 et u_1 de l'air, à son entrée et à sa sortie de la machine, l'équation :

$$u_1^2 - u_0^2 = 2g(h' - h_1) + w^2(r_1^2 - r_0^2). \qquad (2)$$

Enfin l'hypothèse admise que la vitesse absolue v n'est point modifiée à l'entrée de l'air dans le ventilateur, est exprimée par l'équation :

$$u_0^2 = v^2 + w^2 r_0^2, \qquad (3)$$

puisque la composante wr_0 de la vitesse v est perpendiculaire à la direction de celle-ci.

Il faut de plus que le volume d'air qui pénètre dans le ventilateur, pendant un temps quelconque, soit égal au volume d'air qui est rejeté dans l'atmosphère pendant le même temps (en négligeant la variation de volume due à la différence des pressions à l'entrée et à la sortie de l'air). Cette condition fournit une dernière relation entre la vitesse v, la vitesse relative u_1 et les grandeurs des orifices par lesquels l'air pénètre dans le ventilateur et en sort.

La surface du passage par lequel l'air pénètre dans le ventilateur est évidemment la surface cylindrique qui a pour rayon r_0 et pour hauteur la hauteur interne des ailes dans le sens parallèle à l'axe. La vitesse v d'un filet d'air quelconque est normale à cette surface, et, en désignant son étendue superficielle par A, le volume d'air qui entre dans le ventilateur pendant l'unité de temps est exprimé par $A \times v$.

Quant au volume d'air qui est rejeté dans l'atmosphère pendant l'unité de temps, il est évidemment égal à la vitesse relative finale u_1 multipliée par la somme des aires des orifices d'écoulement auxquels cette vitesse relative est perpendiculaire. Ici il existe de l'incertitude sur la grandeur des orifices d'écoulement dans l'atmosphère. Nous avons dit que la vitesse relative u_1 était dirigée tangentiellement aux extrémités des ailes, et comme celles-ci sont tangentes à la cir-

conférence extérieure, il en résulterait que les surfaces des orifices d'écoulement seraient normales à ces tangentes. Mais cela est manifestement impossible. Il faut en effet que la vitesse relative des particules d'air sortant coupe obliquement la circonférence extérieure du ventilateur, pour que ces particules puissent la traverser et se répandre dans l'atmosphère ambiante. Les filets fluides ne coupent pas tous sous le même angle la circonférence. Ceux qui s'écoulent tout près de la concavité d'une aile lui sont presque tangents, tandis que ceux qui se dégagent loin de ces points la coupent sous un angle plus grand. On peut admettre, ce me semble, que la direction moyenne des vitesses relatives u_1 est perpendiculaire à la surface rectangulaire qui aurait pour base la normale abaissée de l'extrémité d'une aile sur la convexité de l'aile suivante, et pour hauteur la hauteur des ailes sur le pourtour externe du ventilateur. Quoi qu'il en soit, en désignant par A_1 la somme des aires des orifices d'écoulement, c'est-à-dire la somme des sections normales des filets fluides qui se répandent dans l'atmosphère, après avoir traversé la surface cylindrique de rayon r_1, le volume d'air sortant du ventilateur, dans l'unité de temps, sera exprimé par $A_1 u_1$, et la condition de l'égalité des volumes d'air qui entrent et s'écoulent dans le même temps fournira l'équation :

$$Av = A_1 u_1. \qquad (4)$$

En outre, si l'on désigne par Q le volume d'air débité par la machine dans l'unité de temps, on aura :

$$Av = A_1 u_1 = Q.$$

En général, lorsqu'on voudra établir une machine capable de produire un effet déterminé, on connaîtra dans les équations précédentes les pressions h_0 et h_1, et le volume d'air Q ; il faudra disposer des dimensions du ventilateur et de la vitesse angulaire w, de manière à satisfaire aux équations précédentes, dans lesquelles on aura remplacé Q, h_0 et h_1 par leurs valeurs numériques.

Si l'on ajoute les équations (1), (2) et (3), membre à membre, il vient :

$$u_1^2 = w^2 r_1^2 + 2g(h_0 - h_1).$$

Or la différence $h_0 - h_1$ est en général négative, et nous pouvons la représenter par $-H$, H exprimant l'excès de pression de l'air atmosphérique sur la pression de l'air que le ventilateur a pour but de

déplacer, exprimée en colonne d'air que l'on assimile à un fluide incompressible. L'équation précédente est ainsi remplacée par la suivante :

$$u_1^2 = w^2 r_1^2 - 2gH. \qquad (a)$$

Supposons, par exemple, que l'on veuille faire circuler dans une mine 8 mètres cubes d'air par seconde, et soit la hauteur H égale à 63m,83 en colonne d'air, ce qui équivaut à peu près à 7 centimètres d'eau. (Ce sont les nombres qui résultent de mes observations sur la machine à pistons établie sur la houillère de l'Espérance. Ainsi, ces suppositions sont applicables, dans la pratique, aux mines d'une grande étendue et qui exigent un aérage très-actif.) Nous remplacerons dans les équations (1), (2), (3) et (4), Q par 8, et H par 63m,83.

Remarquons actuellement que la vitesse absolue de l'air, rejeté dans l'atmosphère, est à peu près égale à la différence $wr_1 - u_1$ de la vitesse de rotation de l'extrémité des ailes, et de la vitesse relative u_1. La hauteur génératrice de cette vitesse absolue est $\frac{(wr_1 - u_1)^2}{g}$, et l'on sait que le produit de cette hauteur, par le poids de l'air, extrait dans l'unité de temps, est la mesure du *travail* strictement nécessaire pour imprimer à l'air, qui abandonne la machine, la vitesse absolue qu'il possède dans ce moment. D'un autre côté, le *travail utile* de la machine a pour mesure le produit du poids de l'air multiplié par la hauteur H. Ainsi, le *travail perdu* pour imprimer à l'air sortant la vitesse avec laquelle il est définitivement rejeté dans l'atmosphère, est au *travail utile* de l'appareil comme $\frac{(wr_1 - u_1)^2}{2g}$ est à la hauteur H. On peut se donner la condition que le travail perdu par la vitesse que l'air conserve ne soit qu'une fraction donnée $\frac{1}{9}$ par exemple, du travail utile; cette condition sera exprimée par l'équation :

$$\frac{(wr_1 - u_1)^2}{2g} = \frac{1}{9} H. \qquad (b)$$

Des deux équations (a) et (b), on tire sans difficulté les valeurs de wr_1 et de u_1 en fonction de H, savoir :

$$wr_1 = \frac{5}{3}\sqrt{2gH},$$

$$u_1 = \frac{4}{3}\sqrt{2gH}.$$

Remplaçant $2g$ par sa valeur numérique 19,6176, H par sa valeur particulière dans l'exemple que nous avons pris, savoir, $63^m,83$, il vient :

$$wr_1 = 58^m,985$$

$$u_1 = 47,188.$$

Le volume d'air débité devant être de 8 mètres cubes par seconde, j'en conclus que la somme des aires des orifices d'écoulement des canaux mobiles doit être égale à $\frac{8}{47,188}$, et qu'ainsi

$$A_1 = 0^{m.\ car.},1695.$$

Si je désigne par α l'angle compris entre la tangente à la circonférence de rayon r_0 et la tangente à l'origine de chacune des ailes courbes, la projection de la vitesse relative u_0, sur la tangente à la circonférence de rayon r_0, sera $u_0 \cos\alpha$; or, puisque la résultante de la vitesse u_0 et de la vitesse de rotation wr_0 doit être normale à la circonférence de rayon r_0, il faut que l'on ait la relation :

$$u_0 \cos\alpha = wr_0 \qquad (m)$$

et cette équation équivaut à l'équation (2) $u_0^2 = v^2 + w^2 r^2_0$ qu'elle peut remplacer.

D'un autre côté, si je désigne par L la hauteur du ventilateur dans le sens parallèle à l'axe, à la circonférence intérieure, l'aire de la surface cylindrique à laquelle aboutissent les ailes intérieurement sera égale à $2\pi r_0 \times L$. C'est cette aire qui est désignée par A dans l'équation (4). Si l'on admet que la vitesse relative de tous les filets d'air, à leur entrée dans les canaux mobiles, forme, avec les tangentes à la circonférence de rayon r_0, le même angle α que les ailes, la somme des aires des orifices par lesquels l'air entre dans les canaux mobiles sera égale à la surface cylindrique $2\pi r_0 \times L$, multipliée par le sinus de l'angle α; par conséquent, la vitesse relative, à l'entrée des canaux mobiles, s'obtiendra en divisant le volume d'air total par $2\pi r_0 L \sin\alpha$. On aura donc :

$$u_0 = \frac{8}{2\pi r.\ L \sin\alpha}. \qquad (n)$$

Or la valeur que l'on peut attribuer à L n'est point tout à fait arbitraire. Il faut, en effet, que l'aire de l'ouverture centrale que l'air

doit franchir, avant de s'étaler en une nappe perpendiculaire à l'axe, pour arriver à la surface cylindrique de rayon r_0, soit au moins aussi grande que cette dernière surface; autrement l'air aurait à franchir une ouverture rétrécie, ce qui donnerait lieu à une perte de force vive; la surface circulaire d'entrée ayant pour rayon *maximum* r_0, il faut que l'on ait $\pi r_0^2 =$ ou $> 2\pi r_0 L$.

Nous prendrons $\pi r_0^2 = 2\pi r_0 L$, parce qu'il convient, pour augmenter les dimensions des canaux mobiles, et diminuer en conséquence les frottements, que L soit le plus grand possible. Il suit de là que l'on aura $L = \frac{r_0}{2}$, et l'équation (n) devient :

$$u_0 = \frac{8}{\pi r_0^2 \sin \alpha}. \qquad (n')$$

Des deux équations (m) et (n'), on tire sans difficulté, en éliminant u_0,

$$\tang \alpha = \frac{8}{\pi w r_0^3}, \qquad (o)$$

et en éliminant l'angle α :

$$r_0^6 - \frac{u_0^2}{w^2} r_0^4 + \frac{64}{\pi^2 w^2} = 0. \qquad (d)$$

L'angle α et le rayon r_0 seraient complétement déterminés par ces dernières équations, si l'on se donnait la vitesse angulaire w et la vitesse relative u_0.

La vitesse angulaire w ne dépend plus que du rayon extérieur r_1, puisque déjà nous avons $wr_1 = 58^m,985$. Quant à la vitesse u_0, il faut qu'elle soit tout au plus égale à u_1 ou $47^m,188$, pour que les canaux mobiles n'aillent pas en s'élargissant du centre à la circonférence, et qu'on soit sûr que l'air remplira la section des canaux mobiles dans toute leur étendue. Dans les diverses valeurs que l'on peut prendre pour les quantités r_1 et u_0, qui demeurent arbitraires, il importe, comme on le verra par la suite de la discussion, de s'arrêter à celles qui donnent pour α un assez petit angle, et pour le rayon r_0 la valeur la moins écartée de r_1.

Cette dernière condition exige que l'on prenne pour u_0 la plus grande valeur possible, c'est-à-dire sa limite supérieure; car de l'équation (d) il résulte évidemment que r_0 doit être plus petit que

$\frac{u_0}{w}$, et par conséquent r_0 diminuera avec la vitesse u_0 quand la vitesse angulaire w sera supposée connue. Il ne reste donc plus d'arbitraire maintenant que le rayon extérieur r_1. Je l'ai pris égal à $0^m,60$, ce qui donne :

$$w = \frac{58^m,985}{0,6} = 98^m,31;$$

posant d'ailleurs $u_0 = u_1 = 47^m,188$, il vient pour l'équation (d) :

$$r_0^6 - 0,2304 r_0^4 + 0,0006709 = 0;$$

la valeur de r_0 qui y satisfait est comprise entre $0^m,47$ et $0^m,46$; en adoptant cette dernière valeur, inférieure à la racine de l'équation (d), l'équation (c) donne :

$$C \log \tang \alpha = 9,42506,$$

à quoi correspond un angle α de $14^\circ 54'$.

On a ensuite, par l'équation (m) :

$$u_0 = 46^m,796',$$

valeur un peu plus petite que u_1, comme cela devait être.

Le nombre des ailes demeure seul arbitraire. Pour atténuer l'influence des frottements, il importe de donner à chaque aile la moindre longueur possible, et pour cela il faut que les ailes ne se recouvrent pas l'une l'autre, ou du moins ne se recouvrent que sur une très-petite partie de leur étendue, c'est-à-dire que l'origine d'une aile sur la circonférence de rayon r_0, et l'extrémité de l'aile précédente sur la circonférence extérieure, doivent correspondre à peu près à un même rayon de l'une et de l'autre circonférence, ainsi qu'on le voit dans les *fig.* 1 et 2, *Pl. XXV*. Si les ailes sont ainsi tracées, la longueur de la perpendiculaire abaissée de l'extrémité d'une aile, sur la convexité de l'aile suivante, sera évidemment égale à :

$$(r_1 - r_0) \times \cos \alpha.$$

Si d'ailleurs n est le nombre total des ailes, et si L′ désigne la hauteur des ailes dans le sens parallèle à l'axe, à la circonférence

extérieure du ventilateur, la somme des aires des orifices d'écoulement sera exprimée par $nL'(r_1 - r_0)\cos\alpha$, et l'on devra avoir :

$$nL'(r_1 - r_0)\cos\alpha = A_1 = 0^{m.\,carr.},1695;$$

or

$$r_1 - r_0 = 0^m,60 - 0^m,46 = 0^m,14,$$
$$\cos\alpha = \cos 14^\circ\, 54' ;$$

on a en conséquence

$$nL' = 1^m,2528.$$

Il est commode, pour la construction, que la hauteur L' soit à peu près égale à la hauteur L des ailes, à la circonférence intérieure, et par conséquent que L' diffère aussi peu que possible de $0^m,23$. Il en sera ainsi si l'on prend le nombre des ailes égal à 6, ce qui donnera $L' = 0,2088$.

Nous avons donc en résumé les dimensions suivantes :

$$r_1 = 0^m,60;\ r_0 = 0,46;\ L = 0,23;\ n = 6;\ L' = 0,2088;\ \alpha = 14^\circ\, 54';$$

qui déterminent entièrement le tracé de la machine. Nous savons de plus que la vitesse angulaire étant égale à $58^m,985$, le volume d'air débité par seconde, en négligeant les résistances dues à la contraction et au frottement de l'air, serait de 8 mètres cubes.

Les *fig.* 1 et 2, *Pl. XXV*, représentent le ventilateur tracé d'après les données précédentes. Après avoir décrit, *fig.* 2, deux circonférences concentriques de rayons égaux à $0^m,46$ et $0^m,60$, on divise l'une d'elles en six parties égales, et l'on mène aux points de division six rayons que l'on prolonge jusqu'à la circonférence extérieure. A chacun des points de division de la circonférence intérieure, on mène une droite inclinée sur la tangente d'un angle de 14° 54', ou faisant avec le rayon un angle de 104° 54'. Ces droites sont les tangentes à l'origine des ailes, qui doivent d'ailleurs toucher la circonférence extérieure à l'extrémité du rayon suivant, de façon que chacune d'elles soit comprise entre deux rayons consécutifs. La courbe est d'ailleurs arbitraire. Le plus simple est de la former, comme dans la *fig.* 2, d'un bout de ligne droite dans la partie voisine de la circonférence intérieure, et ensuite d'un arc de cercle.

Le tracé du profil *fig.* 1 ne présente aucune difficulté.

Appréciation des frottements. — Examinons actuellement de quelle manière les frottements et la contraction modifient les résultats qui précèdent.

L'air, en franchissant la circonférence de rayon r_0 avec la vitesse v, doit éprouver à peu près les mêmes résistances qu'il rencontre à son entrée dans un ajutage cylindrique. La vitesse v doit donc être environ les 0,92 de la vitesse théorique, et par conséquent l'équation (1) doit être remplacée par celle-ci :

$$v^2 = 2\mu^2 g\,(h_0 - h') \quad \text{dans laquelle} \quad \mu^2 = \overline{0{,}92}^2$$

La hauteur perdue par les résistances qui produisent la réduction de vitesse est

$$\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)\frac{v^2}{2g} = 0{,}1815\,\frac{v^2}{2g}.$$

La hauteur perdue par le frottement de l'air contre les parois des ailes ou des canaux courbes, est proportionnelle au carré de la vitesse relative u_1, qui est sensiblement la même dans toute l'étendue des ailes, au rapport du périmètre à l'aire de la section transversale du canal, et à la longueur du canal. En appelant p le périmètre, a l'aire de la section transversale, l la longueur du canal, ε le coefficient numérique qui, d'après les expériences de M. d'Aubuisson, est égal à 0,0032, l'expression de cette hauteur perdue est :

$$\frac{2\varepsilon\,\frac{p}{a}\times l}{2g}\times u_1^2.$$

Ici le périmètre p et l'aire a sont à peu près constants, ainsi que la vitesse u_1, dans toute l'étendue du canal. La section transversale peut être en effet considérée comme un rectangle dont la surface est égale à

$$\frac{0{,}1695}{6} = 0^{\text{m. car.}},02825,$$

et dont la hauteur est intermédiaire entre $0^{\text{m}},23$ et $0^{\text{m}},2088$, de sorte que la hauteur moyenne est $0^{\text{m}},2194$; la base sera

$$\frac{0^{\text{m. car.}},02825}{0{,}2194} = 0^{\text{m}},12876;$$

on a donc moyennement :

$$\frac{p}{a}=\frac{2(0,2194+0,12876)}{0,02825}=24,65;$$

la longueur l est à peu près égale à $\frac{1}{6}$ de la circonférence extérieure dont le rayon est de $0^m,60$; on peut donc poser $l=0^m,62832$.

Portant ces valeurs numériques, ainsi que celle de $\sigma=0,0032$, dans l'expression de la hauteur perdue, on a :

$$\frac{2\sigma\frac{p}{a}\,lu_1^2}{2g}=\frac{0,099124}{2g}u_1^2.$$

S'il y a choc à l'entrée de l'air dans les canaux mobiles, cela donnera lieu à une perte de forces vives qui, évaluée d'après le théorème de Carnot, sera égale à la demi-force due à la vitesse perdue ou gagnée; or le carré de la vitesse perdue ou gagnée sera égal à

$$(wr_0 - u_0 \cos\alpha)^2,$$

et par conséquent la hauteur perdue sera la hauteur due à cette vitesse, c'est-à-dire

$$\frac{(wr_0-u_0\cos\alpha)^2}{2g}.$$

L'équation qui donnera la vitesse relative u_1 de l'air sortant, en ayand égard aux frottements, s'obtiendra en substituant dans l'équation

$$u_1^2=w^2r_1^2-2gH$$

à la hauteur effective H, cette hauteur, augmentée des sommes des hauteurs perdues par *la contraction*, le frottement et le choc à l'entrée des canaux mobiles, l'équation corrigée sera donc :

$$u_1^2=w^2r_1^2-2gH-0,099124u_1^2-(wr_0-u_0\cos\alpha)^2-0,1815v^2.$$

Or, d'après la construction du ventilateur, on a : $u_0=u_1$. La vitesse v est d'ailleurs égale à $u_0 \sin\alpha = u_1 \sin 14^\circ 54'$. L'équation précédente ne renferme donc, quand on a substitué à H, r_0, r_1, α,

leurs valeurs numériques, que les deux quantités u_1 et w dont l'une dépend de l'autre. On a, après cette substitution :

$$2,0450065u_1^2-2\times0,44454wu_1=0,1484w_2-1252,19,$$

d'où l'on tire :

$$w=-2,9955\,u_1+\sqrt{22,7534\,u_1^2+8437,938} \qquad (A)$$

Si l'on veut que le ventilateur débite 8 mètres cubes d'air par seconde, volume pour lequel il a été projeté, il faudra que u_1 soit égal à $47^m,188$. Or si l'on remplace, dans l'équation (A), u_1 par cette valeur, on trouve pour la vitesse angulaire qui doit être imprimée à la machine :

$$w=101^m,76.$$

Ainsi la vitesse angulaire nécessaire pour extraire le volume d'air voulu, sera de $101^m,76$, au lieu de $98^m,31$, vitesse trouvée quand on ne tient pas compte des frottements. A cette vitesse correspondent 971 révolutions du ventilateur par minute.

Nous pouvons maintenant évaluer le travail moteur absorbé par les résistances passives, et par la force vive due à la vitesse absolue avec laquelle l'air est rejeté dans l'atmosphère : 1° la vitesse absolue de l'air, quand il abandonne la machine, est la résultante de la vitesse relative $u_1=47^m,188$ et de la vitesse de rotation $wr_1=61^m,056$ de l'extrémité des ailes. Les directions de ces deux vitesses ne sont point tout à fait opposées. Elles comprennent entre elles un angle obtus dont le supplément est égal à l'angle $\alpha=14°\,54'$.

Le carré de la vitesse absolue que l'air conserve est donc $w^2r_1^2+u_1^2-2u_1wr_1\cos 14°\,54'$, et la hauteur génératrice de cette vitesse, qui mesure le travail dépensé en pure perte, est :

$$\frac{w^2r_1^2+u_1^2-2u_1wr_1\cos 14°\,54'}{2g}\ldots\ldots\ldots=19^m,677\,;$$

2° La hauteur absorbée par les résistances dues à la contraction est exprimée, ainsi que nous l'avons vu, par :

$$\frac{0,1815\,v^2}{2g}=\frac{0,1815u_1^2\sin^2 14°54}{2g}\ldots\ldots\ldots=1^m,362\,;$$

A reporter..... $21^m,039$

Report 21,039

3° La hauteur perdue par le frottement de l'air contre les ailes et les parois des canaux mobiles, est :

$$\frac{0,099124 u_1^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 11,252;$$

4° La force vive perdue par le choc à l'entrée de l'air dans les canaux mobiles, correspond à une hauteur perdue exprimée par :

$$\frac{(wr_0 - u_1 \cos 14°54')^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots = 0^m,074;$$

5° Enfin, le frottement de l'air contre les disques tournants du ventilateur donne lieu à un travail résistant, équivalant à un accroissement de la hauteur H, exprimé par (1) :

$$\frac{86\frac{\pi}{5} w^3 r_1^4}{2g \times 8} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 8^m,396;$$

Somme égale à la hauteur totale perdue par les résistances passives dues aux frottements de l'air..... $40^m,761$;

La hauteur *utile*, celle qui mesure l'excès de pression de l'air extérieur sur l'air aspiré, est de $63^m,83$. Le rapport de l'effet utile au travail transmis à la machine, abstraction faite des résistances passives provenant du frottement entre les parties solides de la machine, serait donc égal à :

$$\frac{63,83}{104,591} = 0,61.$$

(1) Cette résistance est celle qui provient du frottement des disques du ventilateur contre l'air. Elle est évaluée, en supposant toujours la résistance du frottement proportionnelle au carré de la vitesse, et en suivant la méthode employée par M. Poncelet dans son mémoire sur les turbines de M. Fourneyron, imprimé parmi ceux de l'Académie des sciences.

Mais ce n'est pas là le rapport maximum de l'effet utile au travail transmis à la machine, qu'il soit possible d'obtenir. En effet, si l'on fait varier la vitesse angulaire w, la vitesse u_1 variera en même temps, et dans le même sens, et la vitesse la plus convenable sera celle pour laquelle le rapport

$$\frac{2gH}{2gH+w^2r_1^2+u_1^2-2u_1wr_1\cos 14^\circ 54'+0,1815u_1^2\sin^2 14^\circ 54' + 0,099124u_1^2+(wr_0-u_1\cos 14^\circ 54')^2+\frac{26\frac{\pi}{5}w^3r_1^5}{A_1u_1}}$$

sera un minimum.

u_1 pouvant être exprimé en fonction de w au moyen de l'équation (A), on voit qu'on obtiendrait la valeur la plus convenable de w, en égalant à o le coefficient différenciel de l'expression précédente, pris en considérant w comme variable. On serait ainsi conduit à une équation compliquée de degré supérieur, qu'il faudrait résoudre numériquement, et il est plus simple d'essayer diverses valeurs de la vitesse relative u_1, de calculer les valeurs correspondantes de w, et de la somme des hauteurs perdues. J'essaie d'abord une valeur de u_1 égale à 30 mètres. Le volume d'air débité par seconde sera égal à $30 \times 0,1695 = 5^{\text{m. cub.}},085$ par seconde.

La valeur correspondante de la vitesse angulaire w, calculée en substituant dans l'équation (A) le nombre 30 à la place de u_1, est :

$$w = 80^{\text{m}},182 \qquad \text{d'où} \qquad wr_1 = 48^{\text{m}},1092;$$

à cette vitesse correspondent 766 révolutions du ventilateur par minute.

On a ensuite pour la somme des hauteurs perdues :

$$\frac{w^2r_1^2+u_1^2-2u_1wr_1\cos 14^\circ 54'}{2g} \ldots = 25^{\text{m}},937$$

$$\frac{0,1815u_1^2\sin^2 14^\circ 54'}{2g} \ldots\ldots\ldots = 0^{\text{m}},491$$

$$\frac{0,099214u_1^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 4^{\text{m}},548$$

$$\frac{(wr_0-u_1\cos 14^\circ 54')^2}{2g} \ldots\ldots\ldots = 3^{\text{m}},176$$

$$\frac{86\frac{\pi}{5}w^3r_1^5}{2g\times 5,085} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 6^{\text{m}},464$$

Hauteur perdue totale..... = $38^{\text{m}},616$

Le rapport de l'effet utile au travail transmis à la machine est donc alors égal à

$$\frac{63,83}{102,446} = 0,62.$$

Pour $u_1 = 40^m$, vitesse à laquelle correspond un débit d'air de $6^{m.\,c.}$,78 par seconde, on trouve $w = 91^m,93$; $wr_1 = 55^m,158$. Le ventilateur doit faire 878 révolutions par minute.

On a pour la somme des hauteurs perdues :

$$\frac{w^2r_1^2 + u_1^2 - 2u_1^2wr_1 \cos 14°54'}{2g} \ldots = 19^m,275$$

$$\frac{0,1815u_1^2 \sin^2 15°54'}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots = 0^m,979$$

$$\frac{(wr_0 - u_1 \cos 14°54')^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots = 0^m,673$$

$$\frac{0,099214\, u_1^2}{2g} \ldots\ldots\ldots\ldots = 8^m,086$$

$$\frac{86\,\frac{\pi}{5}\, w^3 r_1^5}{2g \times 6,78} \ldots\ldots\ldots\ldots = 7^m,306$$

Somme totale..... $36^m,319$

Le rapport de l'effet utile au travail transmis au ventilateur est donc, dans ce dernier cas, égal à :

$$\frac{63,83}{100,149} = 0,63,$$

valeur peu différente de celle qui correspond à $u_1 = 30^m$. Il est clair d'après cela que le maximum se trouve entre les vitesses angulaires de $91^m,93$ et $80^m,182$, auxquelles correspondent des volumes d'air extraits de $6^{m.\,c.}$,78 et $5^{m.\,c.}$,085 par seconde, et que le rapport de l'effet utile au travail dépensé, entre ces limites, demeure constamment supérieur à $\frac{60}{100}$.

Forme à donner aux ventilateurs destinés à aérer des mines d'une petite étendue, ou des salles de réunion. — Dans la ventilation des magnaneries, des lieux d'habitation, des mines peu éten-

dues, le volume d'air qu'il faut déplacer est le plus habituellement de 1 à 2 mètres cubes au plus par seconde, et si l'on a pris les dispositions convenables pour la distribution de l'air, l'excès de la pression extérieure sur la pression de l'air intérieur est à peine sensible. C'est à ce cas que s'applique le ventilateur dont je vais actuellement déterminer les dimensions, et qui est représenté dans les *fig.* 3 et 4, *Pl. XXV*. Je me donne les conditions suivantes : Extraire 2 mètres cubes d'air par seconde, sous un excès de pression mesuré par une colonne d'air de 2 mètres de hauteur. On a alors $H = 2$;

$$\sqrt{2gH} = 6,26;$$

et en s'imposant toujours la condition que la différence $wr_1 - u_1$ des vitesses de l'extrémité des ailes et d'écoulement de l'air, soit *due* à une hauteur égale seulement à $\frac{1}{9}$ de la hauteur H, on a pour déterminer wr_1 et u_1, les deux équations

$$u_1^2 = w^2 r_1^2 - 2g \times 2 \quad \text{et} \quad (wr_1 - u_1) = \frac{1}{9}\, 2g \times 2,$$

d'où

$$wr_1 = \frac{5}{3} \times 6,26 = 10^m,43,$$

et

$$u_1 = \frac{4}{3} \times 6,26 = 8^m,35,$$

les équations (m) et (n) deviennent en conséquence :

$$u_0 \cos \alpha = wr_0$$

$$u_0 = \frac{2}{2\pi r_0 L \sin \alpha}.$$

Posant

$$L = \frac{r_0}{2},\ u_0 = u_1 = 8^m,35,$$

et prenant le rayon extérieur $r_1 = 0^m,60$, ce qui donne

$$w = \frac{10,43}{0,6} = 17^m,3833,$$

on a, pour déterminer le rayon r_0, l'équation

$$r_0^6 - \frac{u_1^2}{w^2} r_0^4 + \frac{4}{\pi^2 w^2} = 0 ;$$

laquelle devient, en substituant les valeurs numériques précédentes :

$$r_0^6 - \overline{0,4803}^2 r_0^4 + 0,001341 = 0,$$

elle est satisfaite par une valeur de r_0 comprise entre $0^m,45$ et $0^m,44$. Je pose donc

$$r_0 = 0^m,44; \quad \text{d'où} \quad L = 0^m,22.$$

je calcule ensuite l'angle α par la formule :

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{2}{\pi w r_0^{\,3}},$$

qui me donne :

$$\text{C. log tang}\,\alpha = 9,63340,$$

ce qui correspond à un angle α de 23° 16′.

Puis l'équation $u_0 \cos\alpha = w r_0$ me donne, en y portant les valeurs de r_0, w et α, $u_0 = 8^m,325$, valeur sensiblement égale à $8^m,35$.

J'ai ensuite, pour déterminer le nombre des ailes et la hauteur de ces ailes à la circonférence extérieure :

$$nL'(r_1 - r)\cos\alpha = A_1 = \frac{2}{u_0} = 0^{m.\,car.},2395,$$

d'où

$$nL' = \frac{0,2395}{0,16 \cos 23°16'} = 1^m,029 ;$$

Si on prend $n = 7$, on a $L' = 0^m,2327$.

Cette valeur de L′ diffère peu de L et conduit à une forme de ventilateur facile à exécuter.

On a tracé, d'après ces données, le ventilateur *fig.* 3 et 4, *Pl. XXV*; l'excès de pression H étant ici très-faible, on a indiqué que la couronne plane inférieure n'est point fixée aux tranches des ailes. Cette couronne est donc fixe, et sa face interne est rasée par les tranches

des ailes, en ménageant simplement le jeu indispensable, pour qu'elles ne viennent pas frotter contre elle. Pour tenir compte des frottements de l'air contre les parties solides de la machine, je calcule d'abord l'expression

$$2\varepsilon\frac{p}{a}\times l.$$

a est sensiblement constant et égal à

$$\frac{0,2395}{7}=0^{\text{m. car.}},03421.$$

La base de la section transversale rectangulaire a, égale à la hauteur des ailes, varie de $0^{\text{m}},232$ à $0^{\text{m}},22$. Je suppose qu'elle soit partout égale à $0^{\text{m}},232$, ce qui augmente le périmètre et tend à exagérer le frottement, l'autre dimension du rectangle sera égale à

$$\frac{0,03421}{0,232}=0^{\text{m}},147.$$

La longueur l est à peu près égale au septième du développement de la circonférence extérieure de $0^{\text{m}},60$ de rayon ; j'adopte cette longueur qui est de $0^{\text{m}},53856$, et j'ai en conséquence :

$$2\varepsilon\frac{p}{a}\times l=2\times 0,0032\times\frac{2\,(0,147+0,232)}{0,03421}\times 0,53856=$$
$$=0,076538;$$

l'équation du mouvement de l'air, en ayant égard aux frottements, est en conséquence :

$$u_1^2=w^2r_1^2-2g\times 2-0,076538u_1^2-(wr_0-u_1\cos 23^\circ 16')^2-$$
$$-0,1815u_1^2\sin^2 23^\circ 16';$$

laquelle, après la substitution des valeurs numériques de r_0, r_1, u_1 et g, devient :

$$1,948824u_1^2-2wu_1\times 0,40421=0,1664w^2-39,2352,$$

d'où :

$$w=-2,42015u_1+\sqrt{17,6126u_1^2+235,7885},$$

en y faisant d'abord $u_1 = 8^m,35$, ce qui est la vitesse correspondante à un débit d'air de 2 mètres cubes par seconde, on trouve :

$$w = 18^m,024 \quad \text{au lieu de} \quad 17^m,3833.$$

A cette valeur de w correspondent 172 révolutions du ventilateur par minute.

La hauteur absorbée par les frottements de l'air, etc., calculée comme dans l'exemple précédent, est de $1^m,621$; la hauteur utile étant de 2 mètres, le rapport de l'effet au travail transmis au ventilateur est ici seulement égal à

$$\frac{2}{3,621} = 0,552.$$

Pour $u_1 = 5$ on a $w = 13,874$ (132 tours par minute). Le volume d'air extrait est de $1^{m.\,c.},197$ par seconde.

La hauteur absorbée par les frottements, etc., est de $1^m,30$.

Le rapport de l'effet utile au travail transmis est égal à 0,606.

Pour $u_1 = 4$, $w = 13^m,03$ (124 tours par minute).

Le volume d'air extrait est de $0^{m.\,cub.},958$ par seconde, et la hauteur perdue de $1^m,45$. Le rapport de l'effet utile au travail transmis est 0,580.

Ainsi donc, dans ce cas, le maximum du rapport correspond à des vitesses de 130 tours environ par minute, pour lesquelles le volume extrait est de $1^{m.\,c.},19$ environ par seconde. Entre 124 et 172 tours par minute, à quoi correspondent des volumes d'air extraits respectivement égaux à $0^{m.\,c.},958$ et 2 mètres cubes par seconde, ce rapport se maintient supérieur à 0,55 et monte jusqu'à 0,606.

Les ventilateurs décrits peuvent donc utiliser à peu près 60 p. 100 du travail moteur transmis, sauf toutefois le travail absorbé par les frottements des parties solides de la machine les unes contre les autres, et les pertes d'air par le jeu existant entre le col fixe et la partie mobile de l'appareil. Les cas que j'ai discutés embrassent d'ailleurs tous les cas possibles, et fournissent des règles générales de construction applicables à toutes les pressions et à tous les volumes d'air.

Règles générales de construction des ventilateurs devant produire un effet déterminé.—En effet, si un ventilateur aspirant qui débite un volume d'air Q sous une pression d'air mesurée par une hauteur H, est adapté à une capacité contenant de l'air dont la pression soit inférieure à la pression extérieure, d'une quantité mesurée par une hauteur quelconque H′ différente de H, le volume d'air dé-

bité par ce ventilateur, sous la pression H′, sera au volume d'air débité sous la pression H, dans le rapport direct des racines carrées des hauteurs H′ et H, pourvu que les vitesses angulaires soient entre elles dans le rapport des mêmes racines carrées. Car l'équation générale qui donne la vitesse relative u_1, en fonction de la vitesse angulaire w et de la hauteur H, est :

$$u_1^2 = w^2 r_1^2 - 2gH - Ku_1^2 - (wr_0 - u_0 \cos\alpha)^2 - \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) v^2,$$

dans laquelle K est un coefficient numérique, qui ne dépend que de la forme et des dimensions du ventilateur, μ un coefficient numérique aussi constant, r_1, r_0 et α des quantités fixes pour un ventilateur déterminé. D'ailleurs les vitesses v et u_0 sont avec la vitesse finale d'écoulement u_1 dans des rapports constants, dépendant des dimensions de la machine, de sorte qu'en définitive l'équation précédente est de la forme

$$Au_1^2 - Bu_1 wr = -2gH + w^2(r_1^2 - r_0^2), \qquad (M)$$

dans laquelle A, B, $2g$ et $r_1^2 - r_0^2$ sont des nombres constants pour une même machine.

Or si dans l'équation (M) on fait varier à la fois la hauteur H et la vitesse angulaire w, de telle sorte que w^2 varie proportionnellement à H, et w proportionnellement à $\sqrt{H}$, il est clair que la valeur de u_1 fournie par l'équation (M) variera aussi comme la vitesse angulaire w, et comme la racine carrée de H. Or cette vitesse u_1 est proportionnelle au volume d'air que débite la machine. Donc, si le ventilateur projeté pour une pression H, et qui débite un volume d'air Q, en recevant une vitesse angulaire w sous cette pression, fonctionne sous une pression différente H′, et reçoit une vitesse angulaire égale à:

$$w\frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}},$$

il débitera un volume d'air Q′, qui sera égal à :

$$Q\frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}},$$

conformément au principe énoncé. Il est certain, en outre, que la

hauteur absorbée par les résistances passives demeurera la même fraction de la hauteur totale dans les deux cas; car les différents termes dont la somme compose cette hauteur perdue, sont proportionnels, soit au carré de la vitesse u_1, soit au produit wu_1, soit à $\frac{w^3}{Q}$; or, toutes ces quantités, u_1^2, wu_1 et $\frac{w^3}{Q}$, demeurent proportionnelles à la hauteur totale H dans les deux cas.

Ainsi un ventilateur donné fonctionnera avec le même avantage, sous toutes les pressions, en prenant des vitesses angulaires respectivement proportionnelles aux racines carrées des pressions, et débitant des volumes d'air proportionnels à ces mêmes racines carrées.

Si maintenant on conçoit deux ventilateurs de dimensions différentes, mais de formes semblables, et si l'on place ces ventilateurs sous des pressions égales, je dis que les volumes d'air qu'ils débiteront seront proportionnels aux carrés de leurs dimensions linéaires homologues, pourvu que les vitesses angulaires varient en raison inverse de ces mêmes dimensions. En effet, pour des ventilateurs de formes semblables, les coefficients A et B de l'équation (M) demeurent exactement les mêmes; car ces coefficients sont composés de l'angle α qui ne change pas, de nombres constants, et de fonctions *de degré nul* des dimensions linéaires du ventilateur, fonctions qui par conséquent ne varient pas, quand toutes les dimensions changent dans le même rapport. Si donc H ne change pas de valeur, le second membre de l'équation (M) restera invariable, lorsque r_1 et r_0 viendront à varier ensemble, pourvu que la vitesse angulaire w varie en raison inverse, de telle sorte que les vitesses wr_1 et wr_0 demeurent les mêmes. Cette équation (M) fournira donc toujours la même valeur pour la vitesse d'écoulement u_1. Or le volume d'air extrait par seconde est le produit de cette vitesse u_1 par la somme des orifices d'écoulement, qui est elle-même proportionnelle aux carrés des dimensions linéaires. Donc, si les vitesses angulaires de deux ventilateurs semblables, mais de dimensions différentes, varient en raison inverse des dimensions linéaires homologues, les volumes d'air extraits varieront en raison directe des carrés des mêmes dimensions, la pression H demeurant constante.

Il est encore facile de voir que la hauteur perdue par le frottement demeurera constante dans ces deux cas, comme la hauteur totale H.

Supposons maintenant qu'un ventilateur, d'un rayon extérieur égal à R, placé sous une pression H, débite un volume d'air Q, quand

on lui imprime une vitesse angulaire w, en utilisant 60 pour 0/0 du travail moteur transmis.

On demande de fixer le rayon extérieur d'un ventilateur *semblable* au premier, capable d'extraire un volume d'air Q', la pression étant H', en utilisant la même fraction du travail moteur.

Si le ventilateur de rayon R était placé sous la pression H', il débiterait un volume d'air égal à

$$Q\frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}},$$

en prenant une vitesse angulaire égale à

$$w\frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}}.$$

Le ventilateur cherché devant débiter un volume d'air Q', sous la pression H', les dimensions linéaires devront être à celles du premier, dans le rapport des racines carrées des volumes

$$Q' \text{ et } Q\frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}};$$

ainsi on aura, en désignant par R' son rayon extérieur :

$$R' : R :: \sqrt{Q'} : \sqrt{Q}\sqrt[4]{\frac{H'}{H}}.$$

d'où

$$R' = R \times \frac{\sqrt{Q'}}{\sqrt{Q}}\sqrt[4]{\frac{H}{H'}}.$$

La vitesse angulaire qu'il faudra lui imprimer étant désignée par w', on aura, pour la déterminer, la proportion :

$$w' : w\frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}} :: R : R',$$

d'où

$$w' = w\frac{R\sqrt{H'}}{R'\sqrt{H}} = w\frac{\sqrt{Q}\sqrt[4]{H'}\sqrt{H'}}{\sqrt{Q'}\sqrt[4]{H}\sqrt{H}} = w\frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{Q'}}\sqrt[4]{\frac{H'^3}{H^3}}.$$

Ainsi, les dimensions linéaires homologues sont entre elles, en raison directe des racines carrées des volumes d'air à extraire, et en raison inverse des racines quatrièmes des pressions.

Les vitesses angulaires sont en raison inverse des racines carrées des volumes, et en raison directe des racines quatrièmes des cubes des pressions.

Pour déplacer de fort grands volumes d'air sous de très-petites pressions, il conviendra, comme on voit, de construire de très-grands ventilateurs, qui tourneront lentement, tandis que pour de petits volumes d'air, sous des pressions grandes, il faudra construire des ventilateurs extrêmement petits, mais qui devront tourner avec une grande rapidité.

Par exemple, si l'on veut déplacer 25 mètres cubes d'air par seconde, sous une pression H, mesurée par une colonne d'air de 6 mètres de hauteur, on comparera le ventilateur à construire à celui qui déplace 1m.cub.,197 par seconde, sous une pression de 2 mètres, en faisant 132 tours par minute. Le ventilateur serait semblable à ce dernier, dont les dimensions linéaires seraient augmentées dans le rapport de

$$\frac{\sqrt{25}}{\sqrt{1,197}} \times \sqrt[4]{\frac{2}{6}},$$

de sorte que le rayon extérieur du nouveau ventilateur serait égal à

$$0,6 \times \frac{\sqrt{25}}{\sqrt{1,197}} \times \frac{1}{\sqrt[4]{3}} = 2^m,08.$$

Le nombre de tours par minute serait égal à

$$132 \times \frac{\sqrt{1,197}}{\sqrt{25}}\sqrt[4]{3^3} = 66.$$

Un appareil semblable suffirait pour produire un courant d'air

fort vif, dans une salle dont la section transversale serait de 50 à 60 mètres carrés, puisque la vitesse de ce courant serait d'un demi-mètre environ par seconde.

Si l'on veut au contraire déplacer ou lancer de petits volumes d'air sous des pressions très-fortes, on est conduit par le calcul à donner aux ventilateurs de fort petites dimensions, à les faire tourner avec une rapidité excessive, et l'on tombe sur des conditions à peu près impossibles à réaliser dans la pratique. Aussi le ventilateur ne peut-il pas être appliqué à des cas semblables où les machines aspirantes ou souffantes à pistons sont préférables.

Dans la plupart des applications, on ne connaîtra pas exactement d'avance la pression H, sous laquelle devra fonctionner le ventilateur ; mais cela n'aura pas encore une très-grande importance, parce que, d'une part, un ventilateur donné fonctionnera avec la même économie de force motrice, sous toutes les pressions, si on lui imprime la vitesse angulaire la plus convenable sous chacune d'elles. Le volume d'air extrait dépendra aussi de cette vitesse angulaire ; mais d'un autre côté, celle-ci et le volume d'air correspondant peuvent s'écarter considérablement en dessus ou en dessous des valeurs qui conviennent au maximum de l'effet utile, sans que pour cela il y ait un surcroît considérable de travail moteur perdu ; il en résulte qu'une évaluation d'ailleurs assez grossière de la pression H suffira dans la pratique, pour régler d'assez bonnes dimensions de l'appareil à construire.

En résumé, dans les mines d'une étendue très-considérable, on pourra admettre que le volume d'air à extraire par seconde est de 10 mètres cubes au plus, et que la valeur maximum de H est de 90 mètres, ce qui correspond à une colonne d'eau de $0^m,11$ à $0^m,12$. Ces chiffres sont supérieurs à ceux observés dans la mine de l'Espérance.

On construira pour cela un ventilateur semblable à celui des *fig.* 1 et 2, *Pl. XXV*. Son rayon extérieur, déterminé conformément aux règles précédemment énoncées, sera égal à

$$0^m,6 \times \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{5,085}} \sqrt[4]{\frac{63,83}{90}} = 0^m,77.$$

Sa vitesse angulaire devra être égale à

$$80,182 \sqrt{\frac{5,085}{10}} \sqrt[4]{\frac{90^3}{63,83^3}} = 73,98,$$

c'est-à-dire que le ventilateur devra faire 706 tours par minute.

En prenant $1^k,25$ pour le poids du mètre cube d'air aspiré par la machine, le travail utile serait par seconde de

$$12,5 \times 90 = 1125 \text{kilo} \times \text{m.} (15 \text{ chevaux-vapeur}).$$

Le travail transmis réellement au ventilateur devrait être au travail utile dans le rapport de 100 à 60, ou 5 à 3 environ; c'est-à-dire que ce travail serait de 25 chevaux-vapeur, et il faudrait vraisemblablement une machine à vapeur de la force nominale de 30 chevaux pour réaliser l'effet voulu.

Ceci s'applique, je le répète, aux mines très-étendues, où la ventilation doit être excessivement active, et dont les galeries ne seraient pas très-larges. Pour la mine de l'Espérance si souvent citée, un aérage moins actif est suffisant.

Pour des mines étendues, comme le sont la plupart des grandes houillères de la Belgique et du département du Nord, un volume de de 5 mètres cubes par seconde suffira, et la hauteur H sera tout au plus égale à 40 mètres.

Pour obtenir un semblable résultat, le ventilateur sera encore de forme semblable au précédent. Son rayon extérieur sera égal à:

$$0,6 \times 1 \times \sqrt[4]{\frac{63,83}{40}};$$

sa vitesse angulaire sera égale à :

$$80,182 \times 1 \times \sqrt[4]{\frac{\overline{40}^3}{\overline{63,83}^3}} = 45,51 \text{ (435 tours par minute).}$$

En prenant encore $1^k,25$ pour le poids du mètre cube d'air, le *travail utile* serait, par seconde, de:

$$6,25 \times 40 = 250 \text{ kilogr.} \times \text{mètre } (3,33 \text{ chevaux-vapeur});$$

le travail transmis au ventilateur serait:

$$\frac{5}{3} \times 3,33 = 5,55 \text{ chevaux-vapeur},$$

et une machine de la force nominale de 7 à 8 chevaux suffirait certainement pour réaliser l'effet désiré.

Quant aux salles d'hôpitaux, aux sécheries, aux galeries de mines isolées d'une petite étendue, on préférera la forme du ventilateur des *fig.* 3 et 4, *Pl. XXV*, et les dimensions dépendront ici presque uniquement du volume d'air à déplacer, qu'il faudra déterminer dans chaque particulier. Le travail-moteur nécessaire pour mettre la machine en mouvement sera aussi facile à calculer, d'après le volume d'air à déplacer, et demeurera toujours fort peu considérable.

Expériences de M. Glépin sur les ventilateurs. — M. Glépin a fait des expériences comparatives sur l'effet obtenu dans la pratique du ventilateur aspirant à ailes courbes, comparativement à celui des foyers d'aérage des machines aspirantes à piston et autres appareils.

Le ventilateur était placé sur le puits n° 5 du Grand-Hornu. Ses dimensions avaient été déterminées par M. Glépin, d'après les principes que j'ai développés ci-dessus, et que j'avais donnés dans des mémoires sur l'aérage des mines antérieurement publiés. Le point de départ adopté pour le calcul des dimensions était que le ventilateur débitât 8 mètres cubes d'air par seconde sous une différence de pression mesurée par une colonne d'air de $63^m,83$. M. Glépin, voulant réduire autant que possible le nombre des ailes, avait été conduit à prendre le diamètre extérieur du ventilateur égal à $1^m,70$;

Le diamètre intérieur à 1^m36;

La hauteur des ailes dans le sens parallèle à l'axe, était de $0^m,335$ extérieurement, et $0^m,34$ intérieurement.

Le nombre des ailes était réduit à 3. Elles coupaient la circonférence intérieure sous un angle de 6 degrés 39 minutes: elles étaient tangentes à la circonférence extérieure.

Le ventilateur ainsi construit devait tourner avec une vitesse de 706 révolutions par minute, pour déplacer 8 mètres cubes d'air par seconde, sous une différence de pression mesurée par le poids d'une colonne d'air de $63^m,83$.

Il fut installé sur le puits n° 5. Il était mis en mouvement par une petite machine à vapeur qui n'avait pas une puissance suffisante pour lui imprimer la vitesse de 706 révolutions par minute. Voici les résultats de quatre expériences de M. Glépin, dans lesquelles l'effet utile du ventilateur a varié entre 27/100es et 29/100es du travail moteur total transmis à son axe et mesuré directement avec un frein de Prony.

La *fig.* 1, *Pl. XXVI*, représente l'appareil en projection horizontale.

Première expérience. A la température extérieure de 15 degrés, et sous la pression barométrique de $0^{m},7606$, le ventilateur, en faisant environ 511 révolutions par minute, débitait $4^{m.cub.},567$ d'air par seconde.

L'excès de pression de l'air extérieur sur l'air intérieur était mesuré par une colonne d'eau distillée de $0^{m},02085$ de hauteur, équivalente à une colonne d'air de $17^{m},035$, le poids du mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau étant de $1^{k},223$, à la température et sous la pression précédentes.

Le travail utile de l'appareil était donc de $4,567 \times 1^{kil.},223 \times 17^{m},035 = 95^{kil.} \times {}^{m.},148 = 1,27$ chevaux-vapeur.

Quant au travail moteur transmis à son axe, il était de 4,7 chevaux-vapeur; par conséquent le ventilateur en utilisait environ 27 p. 100.

Deuxième expérience. Le 28 mars 1844, à la température de 17 degrés et sous la pression de $0^{m},7666$, le ventilateur débitait $3^{m.cub.},600$ d'air par seconde, et faisait environ 423 révolutions par minute.

L'excès de pression de l'air extérieur sur l'air aspiré par le ventilateur était mesuré moyennement par une colonne d'eau distillée de $0^{m},0165$ de hauteur, équivalente à une colonne d'air de $15^{m},51$: le poids du mètre cube d'air saturé de vapeur étant de $1^{kil.},22$ à la température et sous la pression précédentes.

Le travail utile de l'appareil était alors de $3,6 \times 1^{kil.},22 \times 15^{m},51 = 59^{kil.} \times {}^{m},34 = 0,7912$ de cheval-vapeur.

Or, comme le travail moteur transmis à son axe était équivalent à 2,75 chevaux, il s'ensuit que l'effet utile correspondant était d'environ 0,29.

Troisième expérience. Le même jour, à la même température et sous la même pression, en imprimant à l'axe du ventilateur une vitesse angulaire correspondant à 516 révolutions par minute, le volume d'air débité était de $4^{m.cub.},020$ par seconde, et la hauteur génératrice de la vitesse d'écoulement de $18^{m},59$.

Par conséquent, l'appareil produisait un travail utile de $4,02 \times 1^{kil.},22 \times 18^{m},59 = 91^{kil.} \times {}^{m.},17 = 1,216$ chevaux-vapeur.

Or, comme la force motrice effective dépensée dans cette troisième expérience était de 4,44 chevaux-vapeur, il en résulte que le ventilateur en utilisait de 27 à 28 pour 100.

Effets comparés d'un foyer d'aérage et du ventilateur. Expé-

riences dans lesquelles on a comparé les effets d'un foyer d'aérage et du ventilateur à ailes courbes. — Dans les premiers jours de mai 1843, on déplaça momentanément le ventilateur pour rendre libre l'orifice supérieur du puits, et l'on mit en activité un foyer établi au bas du puits n° 5, à une profondeur de 208 mètres. Après plusieurs jours de marche régulière, on constata la consommation en combustible de ce dernier appareil, et on trouva qu'il brûlait moyennement 387$^{kil.}$,75 de houille flénu de première qualité en vingt-quatre heures, ou 0$^{kil.}$,004488 par seconde.

L'action de ce foyer déterminait la circulation de deux courants d'air, dont l'un débouchait dans le puits n° 5 à la profondeur de 208 mètres, et l'autre à celle de 185 mètres.

Le premier courant était formé par la réunion de deux branches, dont l'une descendait par le puits n° 6 jusqu'à la profondeur de 286 mètres et l'autre par le puits n° 11, jusqu'à la profondeur de 241 mètres.

La première branche, arrivée au bas du puits n° 6, au niveau de 286 mètres, parcourait une galerie régulière de 152 mètres de développement sur 4$^{m.\ carrés}$,86 de section moyenne, et se bifurquait en deux autres courants.

Le premier circulait d'abord dans une galerie de roulage régulière de 106 mètres de longueur sur 2$^{m.\ carrés}$,16 de section moyenne, passait au front de 95 mètres de gradins, et venait ensuite se réunir au second courant, à l'extrémité d'une galerie très-irrégulière de 78 mètres de développement et de 0$^{m.\ carrés}$,81 de section moyenne, qu'il parcourait dans toute sa longueur.

Le second courant, depuis le point où s'opérait la division, parcourait une galerie irrégulière de 100 mètres de développement sur 2$^{m.\ carrés}$,15 de section moyenne, passait au front de 71 mètres de gradins, et se réunissait ensuite au premier, à l'extrémité d'une galerie sinueuse de 100 mètres de développement sur 0$^{m.\ car.}$,36 de section moyenne, qu'il parcourait dans toute sa longueur.

La première branche ainsi recomposée, s'élevait par un puits de 1^{m},150 de diamètre sur 23 mètres de profondeur, et venait, à sa sortie, se réunir à la seconde branche, qui, depuis le bas du puits n° 11, avait parcouru d'abord une galerie irrégulière de 187 mètres de développement sur 2$^{m.\ car.}$,16 de section moyenne, puis une série de galeries tortueuses d'un développement total d'environ 320 mètres sur une section moyenne de 0$^{m.\ car.}$,81.

Enfin les deux branches réunies se rendaient au puits n° 5 par une galerie régulière de 370 mètres de longueur sur une section moyenne

de 1m. car.,80, et passaient sur le foyer établi au bas du puits, à l'extrémité de cette galerie.

Le second courant descendait par le puits n° 6 jusqu'à la profondeur de 286 mètres, circulait dans une galerie de roulage de 91 mètres de longueur sur 2m. car.,92 de section, parcourait une seconde galerie de 150 mètres de longueur sur 2m. car.,25 de section, passait au front de 243 mètres de gradins, et venait déboucher dans le puits n° 5 à la profondeur de 185 mètres par une galerie étroite et tortueuse de 540 mètres de développement.

Le 19 mai 1843, à la température et sous la pression extérieure, qui étaient, la première, de 15 degrés, et la seconde de 0m,7572 de mercure, le foyer débitait 3m. cub.,990 d'air par seconde.

La température de l'air de la mine, avant son arrivée sur le foyer, était de 19 degrés, et la température de l'air, à la sortie du puits n° 5, de 25°,75 : l'élévation de température était donc de 6°,75.

En prenant 0,26 pour la chaleur spécifique de l'air, et supposant que la combustion de 1 kilogramme de houille développe 7.000 unités de chaleur, on trouve, en effectuant des calculs analogues à ceux qui ont été faits précédemment, que la chaleur communiquée à l'air est environ les 27/100es de la chaleur totale développée par la combustion de la houille.

Or, le ventilateur, replacé sur le puits n° 5, quelques jours après l'extinction du foyer, produisait identiquement et dans les mêmes conditions, le même tirage, lorsqu'on lui imprimait une vitesse de rotation de 413 tours par minute ; il débitait alors 3m. cub.,990 d'air à la température et sous les pressions extérieures précédentes ; l'excès de pression de l'air extérieur sur l'air aspiré par le ventilateur était mesuré, à la température de 18 degrés, par une colonne d'eau distillée de 0m,013 de hauteur, équivalente à une colonne d'air de 10m,669 : le poids du mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau étant de 1kil.,217, à la température de 15 degrés et sous la pression de 0m,7572 de mercure, le travail utile produit par le foyer et par le ventilateur était de 3,99 × 1,217 × 10,669 = 51,807 kilogrammes élevés à 1 mètre par seconde, ce qui correspond à 0,69 cheval-vapeur.

La puissance motrice transmise à l'axe du ventilateur par la petite machine à vapeur qui le faisait mouvoir, a été mesurée avec le frein de Prony par M. Glépin, qui l'a trouvée de 2,558 chevaux-vapeur. D'où il résulte que l'effet utile du ventilateur était les 27/100es du travail moteur total.

En supposant que la chaudière de la machine à vapeur brûlât 5

kilogrammes de houille flénu de première qualité, par force de cheval et par heure, la consommation de combustible pour obtenir une circulation d'air de 3m. cub.,990 par seconde à l'aide du ventilateur, a dû s'élever à 306 kil,96 par jour de 24 heures. Celle du foyer d'aérage était, ainsi que nous l'avons vu, de 387kil.,75 dans le même temps, c'est-à-dire 1/4 en sus à peu près.

Mais si les 8/10es de la chaleur développée par la combustion de la houille sur le foyer d'aérage eussent été utilisés, comme cela arrive dans quelques puits très-secs, et comme nous en avons vu des exemples pour la fosse Ernest d'Anzin et la fosse no 2 du Grand-Buisson, le foyer d'aérage eût produit la même élévation de température, et par conséquent eût donné lieu à la même circulation d'air, en brûlant seulement $387,75 \times \frac{27}{80} = 121$ kilogrammes de houille par vingt-quatre heures, c'est-à-dire que sa consommation eût été de 57 pour 100 au dessous de celle de la chaudière de la machine motrice du ventilateur.

Inconvénients de la fermeture hydraulique du ventilateur. — M. Glépin a remarqué que la disposition du ventilateur représentée *fig.* 1 et 2, *Pl. XXV*, présentait cet inconvénient, que l'eau contenue dans le vase annulaire placé à sa partie inférieure pour éviter l'aspiration de l'air, ne produisait pas l'effet attendu; quoique la hauteur de l'eau fût de beaucoup supérieure à celle qui mesurait l'excès de pression de l'air extérieur sur l'air en mouvement aspiré, cette eau, agitée par le mouvement de rotation du cylindre en tôle fixé sous la couronne du ventilateur, était entraînée dans l'intérieur de la machine, d'où elle s'écoulait au dehors. Il était donc nécessaire de diriger dans le vase annulaire un courant d'eau constant, si on ne voulait pas qu'il se vidât. Dans le cas où il était vide, il devait y avoir une aspiration nuisible de l'air atmosphérique par l'intervalle existant entre le collet fixe et la partie mobile de la machine; dans l'autre cas, l'eau elle-même était aspirée, ce qui produisait également un effet nuisible.

Ventilateur double établi à Sauwartan par M. Glépin. — M. Glépin a donc pensé qu'il serait préférable de faire tourner le ventilateur autour d'un axe horizontal, suivant la disposition que j'avais indiquée pour les ventilateurs de magnanerie, de salles d'hôpitaux, et qui est représentée *fig.* 3 et 4, *Pl. XXV*. Il a construit, pour la fosse de Sauwartan, un ventilateur installé de cette manière. Les *fig.* 2, 3 et 4, *Pl. XXVI*, montrent la disposition adoptée.

Le puits P est entièrement fermé par une voûte en maçonnerie.

Deux conduits c', c', à section intérieure prismatique sont construits au dessus du puits et communiquent avec son intérieur. Ils sont fermés par le haut ; dans les parois verticales planes et en regard sont ménagées deux ouvertures circulaires c, c, devant lesquelles sont placées les deux ouvertures d'un ventilateur double monté sur un axe horizontal ; les ailes sont fixées à un disque énarbré sur l'axe, au milieu de la distance qui sépare les deux parois, et rasent par leur tranche les bords des ouvertures circulaires. On a ainsi deux ventilateurs accolés agissant sur les deux conduits. L'arbre en fer se prolonge à travers la paroi de l'un d'eux et porte les poulies pour la transmission du mouvement à l'aide de courroies.

Le ventilateur de Sauwartan a 2 mètres de diamètre extérieur, $1^m,59$ de diamètre intérieur aux ailes ; la hauteur des ailes dans le sens parallèle à l'axe est de $0^m,40$; le nombre des ailes, 2 ; l'angle sous lequel les ailes viennent couper la circonférence intérieure est de 4° 37′, *fig.* 3.

A la température extérieure de 18 degrés, et sous une pression barométrique de $0^m,7429$, ce ventilateur, en faisant environ 515 révolutions par minute, extrayait de la mine $4^{m.\,cub.},97$ d'air par seconde, l'excès de pression de l'air extérieur sur l'air intérieur étant mesuré par une colonne d'eau de $0^m,046$ de hauteur.

A la vitesse de 479 tours par minute, il extrayait $3^{m.\,cub.},667$ d'air par seconde, l'excès de pression de l'air extérieur sur l'air intérieur étant mesuré par une colonne d'eau de $0^m,0389$.

Le mauvais état de la machine à vapeur motrice n'a pas permis à M. Glépin d'évaluer avec une approximation convenable le travail moteur transmis au ventilateur, pour produire les effets rapportés ci-dessus. Il pense que le travail utilisé était à peu près la même fraction du travail moteur transmis à l'axe, que pour l'appareil du même genre placé au Grand-Hornu.

L'effet utile du ventilateur à ailes courbes, observé par M. Glépin, est inférieur à celui que j'en attendais. Les causes principales de cette différence me paraissent être dans l'existence du jeu annulaire entre la partie mobile de la machine et l'orifice par lequel elle puise l'air aspiré. D'un autre côté, il est permis de croire que le nombre des ailes des ventilateurs du Grand-Hornu et de Sauwartan était trop faible, et qu'il aurait été plus avantageux de leur donner 5 ou 6 ailes, comme je l'avais proposé. Quoi qu'il en soit, sous le rapport de l'économie du combustible, le ventilateur aspirant à ailes courbes ne serait inférieur qu'aux foyers d'aérage établis au bas de puits profonds d'une grande section et parfaitement secs, et aux ma-

chines aspirantes à pistons de grandes dimensions, construites et entretenues avec le plus grand soin. M. Glépin conclut de ses observations qu'un ventilateur capable de remplacer la machine à pistons du puits de l'Espérance devrait avoir pour moteur une machine de la puissance de 29 chevaux environ.

Les frais de premier établissement d'une pareille machine motrice et du ventilateur sont évalués par lui à la somme de 56,665 fr., dans laquelle le ventilateur, avec ses fondations, entre seulement pour 1,553 fr. Les frais de service annuel s'élèveraient à une somme totale de 12,286 fr. 72 c.

On a vu que la machine aspirante à pistons du Grand-Buisson avait coûté, avec sa machine, en frais de premier établissement, 63,537 fr. 20 c., et que les frais de service annuel s'élevaient à 12,917 fr. 70 c. Ainsi le ventilateur aspirant est encore préférable aux grandes machines à pistons, et ne le cède qu'aux foyers d'aérage établis dans les meilleures conditions.

Ventilateurs à ailes planes. — Depuis la publication du traité de l'aérage, on a construit, en Belgique, plusieurs ventilateurs de formes différentes à ailes droites ou courbes. Il résulte des observations de M. Glépin, que l'effet utile de tous ces appareils est inférieur à celui du ventilateur à ailes courbes construit d'après les principes que j'ai développés. Je ne m'arrêterai donc pas à les décrire.

Vis aspirante ou soufflante. — On a également construit des vis aspirantes, consistant en un noyau plein auquel est fixée une spire d'une cloison héliçoïde. Cet appareil est placé dans un cylindre dont le contour intérieur est rasé par les bords de la cloison héliçoïde à laquelle on imprime un mouvement de rotation continu. L'appareil étant logé dans l'épaisseur d'une voûte ou d'un mur qui recouvre un des puits de la mine, on aspire l'air de la mine pour le rejeter à l'extérieur, ou bien on insuffle l'air atmosphérique dans le puits, suivant le sens du mouvement de rotation imprimé à la vis. J'ai donné, dans un supplément au Traité de l'aérage, une théorie de cette vis qui, lorsqu'elle est bien construite, me paraît pouvoir réaliser un travail utile à peu près équivalent à celui d'un bon ventilateur à ailes courbes; mais, comme sa construction me paraît moins simple que celle du ventilateur, je ne la décrirai point ici. La *fig.* 5, *Pl. XXV*, représente la vis telle qu'elle a été construite en Belgique par M. Motte. Les *fig.* 6 et 7 représentent la vis avec un noyau plus gros, comme j'ai proposé de la construire, afin d'éviter l'existence de deux courants d'air en sens inverse l'un de l'autre qui ont lieu dans les vis dont le noyau est trop petit (*voy.* le *Supplément au Traité de*

l'Aérage). Les vis établies en Belgique par M. Motte, et qui ont été le sujet d'observations de la part de M. Glépin, ont donné un effet utile moindre que celui du ventilateur du Grand-Hornu, dans la proportion de 22 à 28. La vis a l'avantage de pouvoir à volonté agir comme machine soufflante ou comme machine aspirante, ce qui peut être utile dans certaines circonstances. Il suffit de changer le sens du mouvement de rotation de l'appareil pour qu'il insuffle dans la mine l'air puisé dans l'atmosphère. Il n'en est pas de même des ventilateurs à force centrifuge. Si on changeait le sens du mouvement de rotation, ils aspireraient encore l'air par l'ouverture centrale, et le rejetteraient à la circonférence; seulement ils deviendraient des machines aspirantes très-défectueuses. Pour les employer comme machines soufflantes, il faudrait les placer dans l'intérieur d'une chambre communiquant librement avec le puits où l'on voudrait injecter l'air, en appliquant leur ouverture centrale contre un orifice circulaire ménagé dans la paroi de cette chambre, par lequel entrerait l'air puisé dans l'atmosphère.

Trompes. — Lorsque l'on a à sa disposition une chute d'eau de 3 à 4 mètres au moins de hauteur, on peut l'utiliser pour établir une *trompe*, qui sera placée près de l'ouverture d'entrée de l'air dans la mine, et fonctionnera comme machine soufflante. La construction de la trompe est simple, et d'ailleurs assez généralement connue. La *fig.* 16, *Pl. XXIII*, représente celle qui a été établie par M. d'Aubuisson, pour aérer la galerie Becquey aux mines de fer de Rancié (Ariége). Elle se compose d'un canal C, qui amène l'eau; d'un arbre foré D, recevant l'eau par sa partie supérieure, et posé sur le fond supérieur d'une caisse ou barrique E, ouverte par le bas, et plongée dans une fosse remplie d'eau; *e* est une plaque de fonte appelée *tablier*, sur laquelle se brise l'eau tombant par l'arbre creux. *f* est le porte-vent ou conduit implanté sur le fond supérieur de la caisse, par lequel l'air dégagé de l'eau est amené dans le puits ou galerie d'entrée de l'air. L'arbre creux est terminé à sa partie supérieure par une espèce d'entonnoir *c*, appelé *étranguillon*. Quatre trous *d*, *d*, nommés *aspirateurs* sont percés immédiatement au dessous de l'étranguillon, et permettent l'entrée de l'air atmosphérique qui est entraîné par l'eau. Dans la trompe de Rancié, l'arbre creux avait un diamètre intérieur de $0^m,22$; l'étranguillon, un diamètre de $0^m,15$. La hauteur de la chute, depuis le seuil du canal qui amenait l'eau jusqu'au tablier, était de $8^m,61$; le volume d'eau motrice de 40 à 50 litres par seconde. L'air pouvait être comprimé dans la barrique, de façon que l'excès de sa pression sur la pression atmosphérique fût

mesuré par une colonne d'eau de $0^m,85$ de hauteur.

Suivant M. d'Aubuisson (*Annales des Mines*, 2e série, t. IV, p. 238), il convient, pour une forte trompe, de multiplier les arbres creux qui sont implantés sur le fond supérieur d'une même caisse ou réservoir. L'étranguillon de chaque arbre doit être placé aussi haut que possible au dessus du tablier. Il suffit de donner à l'orifice de l'étranguillon un diamètre suffisant pour que toute l'eau que doit recevoir l'arbre puisse y passer avec une vitesse de 3 ou 4 mètres par seconde, ce qui correspond à une hauteur *génératrice* de $0^m,45$ à 0,80. Le diamètre intérieur de l'arbre est plus grand dans le rapport de 8 à 5. Le tablier doit être placé à $0^m,50$ au dessus du fond de la caisse immédiatement sous les arbres. Enfin les aspirateurs doivent être ouverts au dessous, et très-près du bas de l'étranguillon.

Je dois faire remarquer que l'air, amené par la trompe de la galerie Becquey, devait circuler dans une conduite en fer-blanc de 0,10 de diamètre seulement, et dont la longueur développée approchait de 400 mètres. Il était nécessaire, à cause du frottement de l'air dans une conduite aussi étroite, d'obtenir une forte pression dans la caisse de la trompe, pression qui pouvait aller, en effet, jusqu'à un excès de $0^m,85$ en colonne d'eau sur la pression extérieure. Si l'on voulait aérer par des trompes une mine étendue, il faudrait chercher, conformément à ce qui a été dit antérieurement, et aux observations recueillies sur les houillères de l'Espérance, de Sacré-Madame et du Monceau, à obtenir une grande masse d'air sous une faible pression. Il paraîtrait convenable, dans ce but, 1° de donner à la caisse de fort grandes dimensions; 2° de donner une section considérable, égale à celle des galeries de la mine, au porte-vent qui établirait la communication entre l'intérieur de la caisse et le puits d'entrée de l'air; 3° enfin, on adopterait pour l'issue de l'eau au bas de la caisse une disposition analogue à celle qui est représentée *fig.* 17, *Pl. XXIII*, et indiquée aussi par M. d'Aubuisson dans le mémoire déjà cité.

La caisse aurait la forme d'une baignoire ou d'un parallélipipède allongé. Les arbres seraient placés à l'une des extrémités. Le tablier, légèrement incliné en avant, serait directement au dessous. L'eau, après avoir frappé ce tablier, coulerait vers l'extrémité opposée de la caisse, et reviendrait sortir par une fente longitudinale *a*, ménagée au bas de la paroi à laquelle est appuyé le tablier. Cette fente communiquerait avec un espace extérieur *b*, fermé par une paroi verticale *c*. L'eau sortant de la caisse remplirait cet espace, et s'épancherait par dessus le bord horizontal de la paroi. Il suffirait que celui-ci fût élevé de 30 à 35 centimètres au dessus du bord supérieur de la

fente *a*. Le porte-vent serait adapté à l'extrémité de la caisse, opposée à celle où seraient les arbres et le tablier.

Quand on voudra seulement porter de l'air au fond d'une galerie isolée, comme il s'agissait de le faire pour la galerie Becquey, on devra se rapprocher des dispositions de la trompe établie dans cette localité.

Effet utile des trompes. — L'effet utile des trompes est une très-petite fraction du travail dépensé. Il s'élève tout ou plus, d'après les observations publiées dans les *Annales des Mines* par MM. Tardy et Thibaud, et M. d'Aubuisson, aux 15/100 de celui-ci. On ne sait pas si les trompes, dans le cas où la compression de l'air devrait être très-petite, seraient plus ou moins avantageuses que les trompes ordinaires. Il est peu probable qu'elles eussent un avantage notable. Ainsi, si l'on voulait tirer le meilleur parti possible d'une chute d'eau pour l'aérage d'une mine, il faudrait établir une bonne roue hydraulique, qui transmettrait le mouvement à un ventilateur à ailes courbes bien construit. Si, au contraire, on peut disposer d'une chute élevée et d'une très-grande quantité d'eau, les trompes seront préférables, parce qu'elles sont plus faciles à établir, qu'elles coûteront moins en frais de premier établissement, et n'exigeront presque aucune dépense d'entretien.

Moyen employé accidentellement en Angleterre pour renouveler l'air, dans une mine infectée et inaccessible. — On fait usage quelquefois, en Angleterre, à la suite d'accidents survenus dans des mines de houille par détonation du gaz inflammable, d'un moyen d'aérage fondé sur le même principe que la trompe. Dans l'impossibilité où l'on se trouve de rallumer le foyer d'aérage, on fait tomber dans le puits d'entrée de l'air (*downcast shaft*) un courant d'eau pris à la surface. Ce courant entraîne avec lui de l'air atmosphérique, qui se dégage au bas du puits et se répand dans les travaux pour aller sortir par une autre issue. Il faut ensuite, quand on a purgé la mine des mofettes qui la remplissent, épuiser avec les pompes l'eau qu'on y a jetée.

Ce moyen pourrait être employé d'une manière permanente dans es mines où il aurait une galerie d'écoulement pour les eaux qu'on aurait fait tomber dans le puits. Il faudrait alors adopter des dispositions telles, que l'air dégagé de l'eau ne fût pas entraîné avec elle dans la galerie d'écoulement, mais fût obligé de circuler dans les travaux. Il suffirait, pour cela, de fermer la communication du puits et de la galerie d'écoulement par une cloison verticale, laissant entre elle et le sol, pour l'issue de l'eau, une fente longitudinale dont le

bord supérieur fût toujours maintenu au dessous du niveau de l'eau, tant du côté du puits que du côté de la galerie. C'est un moyen analogue à celui qui est employé pour la sortie de l'eau de la caisse des trompes.

En général, il sera facile de trouver un bien meilleur emploi pour une chute d'eau semblable à celle dont nous venons de parler. Ce moyen d'aérage sera donc employé très-rarement et dans des circonstances purement exceptionnelles.

Ventilateurs du Hartz. — La *fig.* 15, *Pl. XXIII*, représente la machine aspirante connue depuis longtemps sous le nom de double ventilateur du Hartz. Elle est d'une construction très-simple et n'exige presque pas de frais d'entretien. Elle se compose essentiellement d'un balancier B, terminé par deux secteurs circulaires S, S′, auxquels sont suspendues par des chaînes deux caisses mobiles cylindriques ou rectangulaires C, C′. Ces caisses, entièrement ouvertes par le bas, portent sur leur fond supérieur une large ouverture rectangulaire munie d'un clapet qui s'ouvre de dedans en dehors. Elles sont renversées dans d'autres caisses plus grandes D, D′, dans l'intérieur desquelles elles peuvent se mouvoir en montant et en descendant.

Les caisses D, D′ sont fixes et contiennent de l'eau dans laquelle plongent les caisses mobiles, qui ressemblent à des cloches de gazomètre. Les fonds des caisses fixes D, D′ sont traversés par de larges tuyaux T, T′, qui s'embranchent sur le canal K, par où l'air arrive à la machine. Ces tuyaux s'élèvent au dessus du niveau de l'eau contenue dans les caisses, et sont munis, à leur orifice supérieur, de clapets s'ouvrant de l'intérieur à l'extérieur. En imprimant au balancier un mouvement alternatif, les deux caisses mobiles sont alternativement abaissées et élevées, et il résulte de la disposition des clapets, que l'air venant du canal K par un des tuyaux T, T′, remplit la caisse mobile pendant qu'elle se soulève, et est rejeté dans l'atmosphère lorsque cette caisse s'abaisse. Le jeu est le même que celui d'une double machine à pistons, et l'eau contenue dans les caisses fixes remplace ici la garniture du piston mobile, qui frotte contre les parois d'un cylindre alésé.

Le ventilateur simple se compose d'une seule caisse mobile, liée à un balancier chargé d'un contrepoids qui équilibre en partie son poids.

Une machine de très-grande dimension analogue au ventilateur double du Hartz, a été construite pour l'aérage de la mine de Marihaies, à Seraing-sur-Meuse près Liége, sur les indications de M. A. de Vaux, ingénieur en chef des mines de la province. Chaque cloche

dont le diamètre intérieur est de 3m,50 et la hauteur d'environ 2 mètres, a son contour cylindrique construit en bois ; le fond supérieur en tôle est percé de 16 ouvertures pourvues de clapets équilibrés par des contrepoids. Le tuyau d'aspiration est un cylindre dont le diamètre est de 2 décimètres inférieur à celui de la cloche qui le recouvre. Ce grand tuyau est fermé à sa partie supérieure par un fond plat percé de 16 ouvertures munies de clapets, et qui est élevé au dessus de la surface de l'eau contenue dans l'espace annulaire de 2 décimètres de largeur compris entre ce tuyau et la cuve extérieure, eau dans laquelle plonge la cloche.

Les deux cloches reçoivent un mouvement rectiligne alternatif d'une machine à vapeur à cylindre horizontal établie au milieu de l'intervalle qui les sépare.

D'après M. Glépin, le 9 mars 1843, le volume engendré par l'excursion des cloches était de 6m. cub.,081 par seconde; le volume d'air débité par l'appareil était seulement de 5m. cub.,428 dans le même temps. M. Glépin pense que l'appareil de Marihaies utilise la même fraction de travail moteur que la machine aspirante à pistons du Grand-Buisson. Les frais de premier établissement et de service annuel seraient aussi à peu près les mêmes pour les deux genres d'appareils.

Aspiration déterminée par des jets de vapeur d'eau. — Quelques personnes ont proposé de déterminer la circulation de l'air dans les mines par un ou plusieurs jets de vapeur lancés, soit au fond du puits de sortie d'air, soit dans des cheminées ou tuyaux avec lesquels ce puits est mis en communication. Les expériences que M. Glépin a faites sur plusieurs appareils de ce genre, mettent en évidence un fait qu'il était facile de prévoir à l'avance, savoir que l'effet utile de la vapeur employée à produire la succion de l'air, par injection dans un tuyau, est, dans tous les cas, fort au dessous de celui qu'elle est capable de produire en agissant dans une machine à vapeur ordinaire qui mettrait en mouvement une machine aspirante, même des plus imparfaites (*Voyez* le Mémoire sur l'aérage des mines, de M. Glépin, pages 73 à 82.)

Distribution et conduite de l'air dans l'intérieur des mines.

Le volume d'air qui doit circuler dans les galeries d'une mine, pour l'assainir convenablement, n'est proportionnel ni à son étendue ni au nombre d'ouvriers qui y sont occupés à la fois. Il dépend surtout de la nature et de la quantité des gaz nuisibles ou *mofettes* qui se forment ou se dégagent des parois de la roche. On ne peut établir aucun chiffre ni poser aucune limite à cet égard. L'état de l'air inté-

rieur est le seul indice qui puisse guider le mineur, et la masse d'air entrante dans les travaux doit pouvoir être augmentée jusqu'à ce qu'il soit parfaitement salubre. On peut toutefois se faire une idée du volume d'air nécessaire à la ventilation des mines de houille, par les nombreux exemples que nous avons cités, dans la partie précédente de ce chapitre.

L'ensemble des travaux étant ordinairement formé de galeries nombreuses situées dans le plan du gîte, tandis que les ouvertures, puits ou galeries qui aboutissent au jour sont en petit nombre, on doit adopter des dispositions particulières, pour que l'air se renouvelle à la fois en quantité suffisante dans toutes les excavations fréquentées par les ouvriers; autrement quelques-unes de ces galeries pourraient recevoir trop d'air, à tel point que la vitesse du courant y serait gênante et insupportable, tandis que, dans d'autres, la circulation serait lente ou presque insensible. Pour forcer l'air à circuler partout, on employait assez généralement, autrefois, une méthode uniforme qui consistait à transformer, au moyen de cloisons fixes ou de portes, qui devaient être tenues fermées, et ne s'ouvrir que momentanément pour le passage des ouvriers, l'ensemble des excavations en une galerie unique, sorte de labyrinte très-sinueux ou plutôt anguleux, débouchant dans l'atmosphère par ses deux extrémités, et dans lequel circulait, sans se diviser, le courant d'air. La *fig.* 1. *Pl. XXVII*, offre un exemple de cette disposition. L'air descend par le puits vertical A, parcourt l'ensemble des galeries fréquentées en suivant le chemin indiqué par les flèches, et revient au bas du puits B, par lequel il remonte au jour. Les parties de la figure recouvertes de hachures représentent des travaux abandonnés isolés des autres par des cloisons fixes, et dans lesquels l'air et les ouvriers ne circulent plus. Les tailles d'exploitation consistent ici dans le prolongement des galeries, à la circonférence extérieure des travaux, en s'éloignant des puits A et B; c'est de ce côté que les travaux neufs s'étendent, tandis que le groupe des travaux abandonnés prend un accroissement journalier, dans la partie voisine des puits. On voit en a, a', a'', comment l'air est conduit dans les nouvelles tailles ou galeries prolongées.

Telle était l'ancienne méthode de distribution de l'air dans les mines de houille du nord de l'Angleterre, qui étaient exploitées par galeries et piliers. Les piliers étaient repris ensuite avec difficulté, et le plus souvent perdus en très-grande partie. Elle était aussi vicieuse sous le rapport de l'exploitation même que sous le rapport de la distribution de l'air.

Inconvénients de cette méthode. Sous ce dernier point de vue, il y avait

deux inconvénients fort graves : d'une part, le développement du circuit parcouru par le courant d'air augmentait proportionnellement à l'étendue totale des galeries fréquentées, et le courant arrivait dans les dernières parties de ce circuit, infecté par les gaz irrespirables dont il s'était chargé dans le parcours entier; d'un autre côté, le groupe de travaux abandonnés au centre de la mine devenait un vaste réservoir rempli de gaz nuisibles, tels que de l'acide carbonique ou de l'hydrogène proto-carboné qui se répandaient quelquefois en très-grande abondance, et à l'improviste, dans les galeries fréquentées.

Avantages de la division du courant d'air. — Il est facile de faire disparaître le premier vice signalé ci-dessus : il suffit pour cela de diviser le courant d'air en plusieurs branches distinctes. S'il n'y a que deux issues, l'une pour l'entrée, l'autre pour la sortie de l'air, l'on peut, par exemple, former de l'ensemble des galeries deux ou plusieurs groupes entièrement isolés les uns des autres par des cloisons, des portes ou des piliers de roche. Le volume d'air total descendu par le puits d'entrée se divisera, à une petite distance du puits, en autant de branches ou rameaux qu'on aura formé de groupes, et ces branches du courant ne se réuniront de nouveau que tout près du puits ou dans le puits même par lequel remontera le volume d'air total.

Cette division du courant est aujourd'hui usitée dans toutes les mines de quelque importance bien dirigées. Nous entrerons dans tous les détails nécessaires pour en faire apprécier l'importance et faciliter sa mise en pratiqe par les mineurs.

Concevons que l'ensemble des travaux soit divisé en un certain nombre de groupes, en quatre, par exemple ; que chaque groupe présente le même développement de galeries avec la même section ; qu'ils soient, en un mot, entièrement semblables et semblablement placés par rapport aux ouvertures d'entrée et de sortie de l'air, ou aux deux voies générales aboutissant à ces ouvertures par lesquelles passe la totalité du courant avant la division et après la réunion des quatre branches. Il est évident que, dans ce cas, le courant total se divisera en quatre courants partiels parfaitement égaux, et que les galeries de chaque groupe seront parcourues par des courants animés de vitesses égales. Ce sera donc, en représentant par L la longueur développée des galeries composant un des groupes, par A la section transversale d'une galerie, par P le périmètre de cette section comme si, sur toute la longueur L, le courant d'air circulait dans une galerie unique dont l'aire serait égale à 4A et le périmètre à 4P. Si d'ailleurs nous désignons par Q le volume d'air total qui se distribue

entre les quatre groupes dans une seconde de temps, $\frac{Q}{4}$ sera le volume reçu par chaque groupe, et $\frac{Q}{4A}$ sera par conséquent la vitesse avec laquelle l'air circulera dans chaque galerie. Le frottement de l'air absorbera donc une partie de la hauteur *génératrice du mouvement*, exprimée par : $\frac{6}{g}\frac{4PL}{4A} \times \frac{Q^2}{16A}$. Les rétrécissements et les coudes absorberont une partie de la même hauteur motrice, égale au carré du volume d'air $\frac{Q}{4}$ qui traverse chacun d'eux, c'est-à-dire à $\frac{Q^2}{16}$, multiplié par un coefficient, qui dépendra du nombre et de la dimension des rétrécissements ou coudes, et qui, dans l'hypothèse admise d'une similitude complète, sera le même pour chacun des quatre groupes.

Si, au contraire, le courant d'air n'était point divisé, et si l'ensemble des travaux ne formait qu'un labyrinthe unique à deux issues qu'il aurait à parcourir, il est clair que le développement du circuit entre les points de division et de réunion serait au moins le quadruple du développement de l'un des quatre groupes ; ainsi sa longueur totale serait égale à 4L. L'aire de la section d'une galerie étant toujours A et son périmètre P, si le même volume d'air Q entre dans la mine, dans l'unité de temps, sa vitesse sera $\frac{Q}{A}$. Partant, la partie de hauteur motrice, absorbée par le frottement sera exprimée par $\frac{6}{g}\frac{P \times 4L}{A} \times \frac{Q^2}{A^2}$, c'est-à-dire qu'elle sera à la hauteur motrice absorbée par les mêmes frottements, dans le premier cas, dans le rapport de 4×16 à 1, ou 64 fois aussi grande. La hauteur motrice absorbée par les rétrécissements et les coudes sera égale au carré du volume Q, multiplié par un coefficient numérique, qui sera égal à la somme des 4 coefficients relatifs à chacun des groupes dans la première hypothèse. Elle sera donc aussi, de même que celle absorbée par les frottements, 64 fois aussi grande. Or la dépense de force motrice, ou plus exactement de travail moteur nécessaire pour déterminer la circulation, est proportionnelle au produit de la masse d'air par la hauteur motrice. Cette dépense pour la partie comprise entre les points de division et de réunion serait

donc 64 fois plus grande dans le cas de la non-division que dans le cas de la division du courant. Or, si la division est effectuée près du puits d'entrée, et la réunion près du puits de sortie de l'air, les résistances au mouvement dans les deux puits, et les bouts de galerie où passe le courant total sont très-petites, comparativement aux résistances occasionnées par le parcours total, de sorte que l'économie du travail moteur, due à la division, serait dans la pratique sensiblement aussi considérable que celle qui ressort des considérations précédentes.

Il est même facile de voir qu'elle sera généralement plus grande encore lorsque les moyens artificiels agiront dans le même sens que les causes naturelles pour déterminer la circulation; car l'effet des causes naturelles consiste à engendrer, sans aucune dépense, une partie de la hauteur motrice nécessaire pour entretenir le mouvement, partie qui demeure sensiblement constante, quelle que soit l'étendue du parcours souterrain, pourvu qu'il soit assez grand pour que l'air ait acquis une température égale à celle qu'il ne dépasserait pas sensiblement dans un trajet plus long. Le surplus de la hauteur motrice, qui doit être le résultat de l'action des moyens artificiels, est donc diminué de la même quantité, que le courant soit divisé en plusieurs branches ou non. Or, si les causes naturelles produisent, par exemple, à elles seules, la moitié de la hauteur motrice, dans le cas de la division du courant, ce qui n'est pas une hypothèse éloignée de la réalité dans beaucoup de cas, il est évident que la dépense de travail moteur nécessaire pour faire circuler une quantité d'air donnée dans les galeries divisées en quatre groupes, sera égale au produit du poids de l'air par la moitié de la hauteur motrice totale correspondante. Si la division n'a plus lieu, la hauteur motrice totale correspondante à la même masse d'air entrante sera 64 fois aussi grande, et, comme les causes naturelles ne fourniront toujours que la moitié de la hauteur motrice primitive, il est clair que le travail moteur ne sera pas seulement 64 fois, mais bien 128 fois aussi grand.

La division du courant présente encore d'autres avantages d'une haute importance. Il arrive fréquemment que, dans une même mine, certains quartiers donnent lieu à un dégagement de gaz nuisibles, en beaucoup plus grande abondance que le reste des travaux. Il est alors facile de conduire directement au puits de sortie de l'air, sans la faire circuler dans aucune voie fréquentée, la branche du courant qui a parcouru les quartiers particulièrement infectés. C'est ainsi qu'on ne doit jamais conduire un courant chargé de gaz inflammable, au point qu'il puisse y avoir crainte d'explosion, sur un foyer d'aérage;

il faut l'amener directement au puits, et l'y faire déboucher à une assez grande distance de la cheminée du foyer, pour qu'une étincelle ne puisse pas y mettre le feu.

Lorsqu'il y a, dans une mine, un dégagement de mofettes, ou seulement lorsque les travaux sont fort étendus, il serait souvent nécessaire, si on voulait l'aérer, sans diviser l'air, que le courant eût une vitesse excessive dans les galeries, et sur les tailles. La vitesse la plus convenable est d'environ $0^m,60$ par seconde. Cela suffit, lorsque les excavations ont une forme qui n'est pas trop irrégulière, pour que les gaz irrespirables soient mêlés promptement au courant, et entraînés par lui. Une vitesse d'un mètre par seconde serait déjà un peu gênante; passé cette limite, le courant éteindrait quelquefois les lumières; il y aurait même un danger très-grave à la dépasser, si l'air pouvait être accidentellement chargé d'hydrogène carbonné, au point d'être explosif, parce qu'un courant animé d'une vitesse médiocre, 300 pieds anglais par minute, ou à peu près $1^m,50$ par seconde suffit, suivant le docteur *Gurney*, pour faire passer la flamme, à travers les mailles de la lampe de sûreté de Davy, usitée dans les mines à grisou.

La division du courant est donc un principe fondamental de la bonne distribution de l'air, dans les mines étendues, quel que soit le mode d'exploitation. Mais il y a, en même temps, nécessité de l'effectuer d'une manière convenable, entre les divers groupes de travaux, de façon que les uns ne soient pas trop aérés, tandis que d'autres ne recevraient pas l'air en quantité suffisante.

Portes d'aérage.—Il n'arrive jamais, dans une exploitation, que les divers groupes présentent un égal développement de galeries, et soient en tout semblables. Si l'on n'adoptait pas de dispositions particulières, l'air se distribuerait fort inégalement entre eux; la plus grande partie passerait dans le groupe le moins étendu, ou dont les galeries seraient le plus larges; les groupes les plus étendus, qui par cela même doivent ordinairement recevoir plus d'air, pourraient n'en avoir que très-peu. Un pareil système serait, sans contredit, le plus mauvais de tous. Pour obtenir une division convenable du courant, il suffit de placer, dans chaque groupe de travaux, une porte munie d'un guichet, susceptible de s'ouvrir plus ou moins, de manière que le courant d'air qui parcourt ce groupe, soit obligé de passer à travers une ouverture plus ou moins rétrécie. En réglant les ouvertures des divers guichets, on parviendra à distribuer, dans telle proportion qu'on voudra, le volume d'air total, entre les groupes, quelles que soient les différences qu'ils présentent, sous le rapport du développement et de la section des galeries. Les grandeurs des

ouvertures des guichets seront, en général extrêmement différentes; ainsi, pour un groupe peu étendu, ou une simple galerie, les fissures inévitables, même à travers une porte bien fermée, suffiront pour laisser passer la quantité d'air nécessaire; tandis que les galeries qui forment les groupes les plus étendus, demeureront entièrement ouvertes, et les portes pourront être supprimées.

Dans la plupart des cas, au lieu de portes fermant bien, et munies de *guichets*, on place de simples portes fermant mal, ou mal jointes, ou enfin dont on a fait sauter une planche. Elles sont appelées, dans dans le nord de l'Angleterre, *sheth-doors* ou *sham-doors*, suivant qu'elles perdent simplement un peu d'air par des fentes naturelles, ou qu'on y a ménagé à dessein des vides d'une certaine grandeur. Il me semble qu'au moins, pour ces dernières, un guichet est préférable; mais il faut avoir soin, quand l'ouverture en a été une fois convenablement réglée par le directeur de la mine, de prendre des moyens sûrs pour qu'elle ne puisse pas être agrandie ou diminuée par mégarde ou malveillance. Ainsi, la planche mobile du guichet doit être fixée par des clous ou un cadenas dont le maître mineur conserverait la clef. Pour distinguer ces portes de celles dont je vais parler, je les appellerai portes *régulatrices*.

Les divers groupes de travaux sont isolés les uns des autres, soit par des piliers massifs ménagés pendant l'exploitation, soit par des murs en maçonnerie ou des digues en terre imperméables à l'air, dans les endroits où les piliers massifs n'ont pu être conservés. Néanmoins, il existe entre ces groupes, qui doivent demeurer toujours complétement isolés quant à l'aérage, des communications nécessaires pour le transport souterrain des minerais et le passage des ouvriers. Pour maintenir l'isolement des courants d'air en toute circonstance, on établit dans le passage des portes très-solides fermant hermétiquement, et que l'on nomme portes principales, en anglais, *main-doors*. Il faut, dans chaque passage, établir au moins deux portes semblables, séparées par une distance assez grande pour qu'un convoi de chariots puisse se tenir dans l'intervalle, et que la première porte soit déjà fermée derrière le convoi, quand on ouvre la seconde. Dans les passages où l'ouverture d'une porte principale pourrait donner lieu à des dangers très-graves, on en établit même trois, de façon à ce que toujours il y en ait deux fermées à la fois. Enfin, dans les mines où l'exploitation est fort active, un enfant de douze à quatorze ans est placé près de chaque porte, et uniquement chargé de l'ouvrir et de la fermer à propos.

Les travaux abandonnés, dans lesquels on ne pénètre plus, sont

isolés des travaux en activité, soit par des piliers massifs, soit par de fortes digues en maçonnerie. Quelquefois il y a utilité de ménager dans ces digues une ouverture pour rentrer au besoin dans les vieux travaux. Cette ouverture doit être petite, simplement suffisante pour le passage d'un homme. Elle doit être tenue fermée par une porte excessivement solide, joignant hermétiquement, et fermant à clef; la clef reste entre les mains du directeur ou du chef ouvrier chargé de cette partie du service.

Exemples divers de distribution d'air dans les mines. — Les détails particuliers de la distribution de l'air varient nécessairement, avec le mode général d'exploitation usité, la forme des excavations, et l'allure du gîte. Par exemple, dans le nord de l'Angleterre, les mines sont ouvertes sur des couches d'une puissance de 2 à 3 mètres. La *fig.* 1 *Pl. XXVII*, représente l'ancien système d'exploitation et de distribution d'air, aujourd'hui abandonné, et dont les vices ont été signalés. Il suffira d'ajouter ici que P, P′, P″ représentent des portes principales, destinées à forcer la totalité de l'air, à faire le tour des travaux, avant de remonter par le puits de sortie B. Le courant n'est point divisé. Il n'y a par conséquent pas de portes régulatrices. Le foyer d'aérage est établi latéralement à la galerie principale, qui met en communication directe les puits A et B, afin que ce dernier puisse être utilisé pour l'extraction de la houille. Enfin, il existe de nombreux barrages ou portes, qui isolent les travaux abandonnés au centre, de ceux en activité sur la circonférence.

La *fig.* 2, *Pl. XXVII*, représente le mode d'exploitation usité aujourd'hui, et qui a remplacé le précédent. Le courant d'air descendant par le puits A se divise en deux branches principales, dont l'une suit la galerie G, et l'autre la galerie G′. Ces deux branches demeurent isolées l'une de l'autre, pendant tout leur parcours, et ne se réunissent de nouveau que dans le puits de sortie de l'air B. La première branche arrive au bas de la galerie G, remonte, en se subdivisant en deux, par les galeries parallèles I, I′, en longeant le front des travaux abandonnés et dépilés C, lesquels sont indiqués par des hachures. Son trajet est indiqué par le signe o-. Elle continue à être subdivisée entre deux galeries parallèles, jusque tout près du puits B, dans lequel elle arrive par une galerie particulière D, située à un niveau supérieur ou inférieur au foyer d'aérage.

L'autre branche principale, qui suit d'abord la galerie G′, se subdivise, comme la première, entre deux galeries parallèles. Son trajet est indiqué par de simples flèches. Une partie de l'air alimente la combustion du foyer d'aérage F, et le reste se rend directement au

puits B. Une porte, munie d'un guichet, peut servir à régler le volume d'air qui va au foyer.

Indépendamment de ces deux branches principales, un filet d'air traverse la double porte P P, et suffit pour aérer la galerie M, qui met en communication directe les puits A et B. Les portes indiquées dans la figure sont toutes des portes principales, qui sont hermétiquement fermées, sauf la double porte PP, et la porte *p*, qui doit laisser passer un filet d'air, détaché de la première branche, pour aérer le bout de galerie N.

On voit que le mode d'exploitation consiste : 1° dans le creusement de deux systèmes de galeries rectangulaires, séparées par des piliers de houille ; 2° dans l'extraction de ces piliers, ou dépilage, que l'on commence à l'une des extrémités de la mine, et qui se continue en se rapprochant des puits A et B. Le dépilage est suivi d'éboulements, au milieu desquels il est impossible d'entretenir aucune voie régulière, pour la circulation de l'air. A mesure que l'enlèvement d'une rangée de piliers est terminé, on isole, aussi bien que possible, cette partie de la mine des galeries voisines, par des barrages en briques. Néanmoins, les gaz nuisibles, et surtout l'hydrogène carboné (quand la mine en fournit), qui s'accumulent dans les vides existants, traversent les barrages, que la mobilité du terrain ne permet pas de rendre, ou de maintenir tout à fait imperméables, et vicient fortement la première branche du courant d'air. C'est pourquoi on la conduit directement au puits B, par une voie particulière, écartée du foyer d'aérage, toutes les fois que la mine est sujette au grisou.

Si l'on n'était pas parfaitement sûr que la deuxième branche du courant ne peut jamais devenir explosive, on devrait la faire déboucher dans le puits B, comme la première, par le conduit D, ou un autre analogue, et l'on alimenterait la combustion du foyer, au moyen du filet d'air, qui aurait passé à travers la double porte PP, et n'aurait parcouru souterrainement que la seule galerie M. Il est aisé de voir qu'on obtiendrait ce résultat, par un simple placement de porte. Il suffirait, par exemple, d'en placer une en *a'*, suivant la ligne ponctuée, pour que les deux branches se réunissent dans le conduit D.

On pourrait également, par de simples déplacements de portes, faire circuler l'air de la deuxième branche principale, dans des galeries où passe la première branche, et *vice versâ*. Enfin, on peut déterminer, au moyen de portes régulatrices, le volume d'air, qui entre dans chaque branche, de manière à ce que les deux groupes de galeries soient convenablement aérés.

La *fig.* 1, *Pl. XXVIII*, représente l'ensemble des travaux d'une mine étendue, exploitée par compartiments; A est le puits par lequel l'air descend; B le puits de sortie, au bas duquel est installé un foyer d'aérage F; GG′ une grande galerie servant au roulage, et par laquelle le courant d'air frais arrive à tous les travaux. Les groupes de travaux 1, 2 et 3, à droite de la galerie, sont aérés par une branche principale du courant d'air. Cette branche arrive jusques en G′, circule ensuite dans le groupe n° 1, où elle est subdivisée entre deux galeries parallèles, ainsi qu'on le voit par les flèches, qui indiquent la marche du courant, et par les portes qui le forcent à parcourir l'ensemble des galeries. Après avoir circulé dans le groupe 1, l'air arrive dans le groupe 2, en passant par la galerie *gg′*. Il circule dans ce deuxième groupe, comme dans le premier, passe ensuite dans le troisième, et se rend enfin au puits B, en passant à travers le foyer d'aérage F. On suppose que les travaux des groupes 1, 2 et 3 ne laissent pas dégager une quantité de gaz inflammable, telle que cette branche du courant puisse devenir explosive. Les trois groupes 4, 5 et 6, situés à gauche de la galerie GG′, vis-à-vis des premiers, sont aérés, chacun isolément, par trois branches détachées du courant général, qui arrive par la galerie GG′; on suppose que ces groupes sont sujets à un dégagement de gaz très-abondant: c'est pourquoi on renvoie directement au puits de sortie B l'air qui a circulé dans chacun d'eux, sans le faire passer dans les deux autres. Ainsi, l'air qui circule dans le groupe 4, se détache du courant général à l'extrémité G′ de la galerie GG′; il est forcé, par la porte *p*, de circuler dans les galeries de ce groupe, où il se subdivise entre trois galeries parallèles: il rentre ensuite dans la galerie KK′, et se rend directement au puits B, en suivant cette galerie, et une voie particulière, sans passer sur le foyer F.

L'air qui circule dans le groupe 5 est dérivé du courant général au point C, par une galerie CC′, qui croise, en projection horizontale, la galerie KK′, laquelle sert au retour de l'air, sans l'interrompre, parce qu'elle est excavée au dessus ou au dessous de celle-ci. L'air circule comme dans le groupe 4, et se réunit ensuite à celui qui vient de ce dernier, dans la galerie KK′. Le groupe 6 est de même aéré par une branche, dérivée du courant général, au point C_1, par la galerie $C_1 C_1'$, exécutée aussi à un niveau différent de la galerie KK′, pour ne point interrompre celle-ci; cette branche se réunit aux précédentes, pour retourner au puits B.

Il est inutile de dire que des portes régulatrices doivent être placées, et leurs ouvertures réglées de manière à établir une proportion

convenable, entre les volumes d'air de chacune des branches, ce qui ne peut se faire que par l'expérience et le tâtonnement. Les autres portes sont des portes principales, dont les unes peuvent demeurer constamment fermées, tandis que les autres doivent s'ouvrir pour les besoins de la circulation intérieure : celles-ci sont toujours doubles, ce qui n'est pas indiqué dans la figure.

On remarquera que la division en groupes ou compartiments, offre le grand avantage de pouvoir isoler complétement, en cas d'accident, l'un des compartiments du reste de la mine ; les massifs épais qui séparent les divers groupes, ne sont d'ailleurs pas perdus pour toujours; on les exploite à l'époque du *dépilage*, que l'on doit commencer par les compartiments les plus éloignés du puits.

Il est aussi essentiel d'observer qu'il n'est aucunement nécessaire que les puits d'entrée et de sortie de l'air, soient placés l'un à côté de l'autre. Ainsi, il est évident que si le puits A était situé à l'autre extrémité des travaux, près du bout G′ de la galerie GG′, le puits B demeurant où il est, l'air descendu par le puits A déboucherait immédiatement au point G′, de sorte que la circulation dans les travaux s'opérerait de la même manière, sans qu'on eût à déplacer aucune des portes indiquées. Le trajet serait même abrégé, dans ce cas, d'une distance égale à la longueur de la galerie GG′.

Enfin, plusieurs puits peuvent être mis en communication, et l'aérage peut être conduit de façon à ce que l'air, descendu par l'un d'eux, sorte par deux ou plusieurs puits différents, comme aussi l'air descendu par deux ou plusieurs puits peut se réunir dans un même puits de sortie. Ces combinaisons diverses que nous ne pouvons qu'indiquer ici, sont journellement mises en pratique dans un grand nombre de mines.

La *fig.* 2, *Pl. XXVIII*, montre comment on peut commencer le creusement d'un petit nombre de galeries au bas d'un puits unique P. Celui-ci doit alors être divisé en deux compartiments par une cloison en bois ou en maçonnerie imperméable à l'air, qui se continue depuis le jour jusqu'au fond. L'air entré par l'un des compartiments remonte par l'autre. Il est forcé, au besoin, de circuler jusqu'au fond des galeries, par des cloisons verticales en bois ou en briques, qui se prolongent, à mesure de l'avancement, jusque tout près de l'extrémité des galeries. Les cloisons en briques établies dans les galeries les plus larges, sont indiquées par des hachures. La figure n'a du reste besoin d'aucune explication.

La *fig.* 3 de la même planche représente les cloisons que l'on établit, pour forcer l'air à circuler, jusqu'au fond des tailles ou galeries

en voie de creusement, lorsqu'il s'y dégage une quantité assez grande de gaz irrespirables, pour qu'ils ne puissent pas être suffisamment entraînés par le courant, qui circule dans les galeries voisines. Ces cloisons qui ne sont que temporaires, sont formées de planches appuyées surdes étais verticaux. On y ménage une porte pour le passage des ouvriers et des chariots, partout où cela est nécessaire. Elles sont facilement amovibles, afin qu'on puisse les transporter ailleurs,aussitôt que le bout de galerie où elles sont placées est mis en communication avec d'autres galeries.

Les figures de la *Pl. XXVII* et les *fig.* 1, 2 et 3 de la *Pl. XXVIII* sont empruntées aux documents publiés à la suite de l'enquête ordonnée par la chambre des communes de la Grande-Bretagne. Le même système de distribution est applicable, avec des modifications faciles à saisir, à toutes les mines, dans lesquelles on trace d'abord des tailles séparées par des piliers, qui sont enlevés à une époque postérieure, quelle que soit d'ailleurs la forme de ces piliers.

Quant aux mines qui, comme les houillères de la Belgique et du département du Nord, sont exploitées par des tailles dont le front présente une grande étendue, et en arrière desquelles on remblaie au fur et à mesure de l'avancement, avec des matériaux stériles provenant du triage de la houille, ou de l'entaillement de la roche dans les voies principales, la distribution de l'air présente moins de difficultés. Le courant général qui arrive par la voie de roulage, peut être divisé en autant de branches qu'il y a de grandes tailles. Chaque branche arrive sur le front de la taille, en suivant la voie de transport qui y aboutit, circule sur le front de celle-ci, et revient par une voie particulière appelée en Belgique et à Anzin *maillage* ou *troussage*, dans une galerie qui la conduit au puits de sortie. C'est dans cette dernière galerie que se réunissent de nouveau les branches qui ont aéré les différentes tailles, lorsqu'il n'y a qu'un seul puits pour la sortie de l'air. Il est inutile de dire que, quand les tailles ont une étendue médiocre, ou que les gaz nuisibles sont en petite quantité, il n'y a aucun inconvénient à faire passer successivement le même air sur plusieurs tailles. Les portes d'érage et le sens du courant d'air sont indiqués sur les *fig.* 5, *Pl. XX*, 3 et 3 *bis*, *Pl. XXI*, sur lesquelles il suffit de jeter un coup d'œil pour se rendre compte de la distribution intérieure de l'air. Dans le cas où l'on exploite une couche épaisse par étages successifs en descendant, les voies générales pour l'arrivée et la sortie de l'air peuvent être ménagées dans le massif de houille inférieur aux chantiers d'exploitation en activité, et servent pour plusieurs étages.

Précautions à prendre dans les mines où il se dégage du gaz inflammable. — Les mines où il y a un dégagement abondant d'hydrogène carboné sont sans contredit celles où l'aérage doit être le plus actif et le mieux entretenu, parce qu'une ventilation insuffisante peut avoir pour résultat une explosion qui ferait périr la plupart des ouvriers. Il faut non seulement introduire dans ces mines une quantité d'air suffisante pour déloger le gaz inflammable qui s'y développe, mais il faut encore prendre les mesures nécessaires pour que ce gaz ne puisse s'accumuler et y prendre feu.

Une expérience malheureuse a suffisamment démontré que l'emploi exclusif des lampes de sûreté de Davy était loin d'offrir une garantie suffisante pour la sûreté d'ouvriers qui travailleraient dans un air qui serait assez souvent ou même habituellement explosif. Pour éviter les chances de danger dans ce cas, il faut : 1° se ménager la possibilité d'augmenter rapidement le volume d'air introduit dans la mine et de le porter au delà de ce qui est suffisant, dans les circonstances ordinaires; 2° distribuer et faire circuler les diverses branches du courant d'air dans un sens tel que la diffusion de l'hydrogène carboné soit favorisée par la légèreté spécifique de ce gaz; 3° éviter avec soin de trop grandes irrégularités dans les dimensions des galeries, des angles trop fréquents, et surtout des cloches ou excavations au faîte de ces galeries, parce que l'hydrogène carboné tendrait à s'y accumuler; 4° faire en sorte que le courant ait une vitesse assez grande pour favoriser la diffusion, sans qu'elle soit portée néanmoins au delà d'un mètre par seconde dans les voies fréquentées par les ouvriers, parce qu'il serait à craindre qu'une vitesse semblable gênât les ouvriers, ou fît passer la flamme à travers la gaze métallique de la lampe de Davy.

On satisfera à la première condition en établissant des appareils d'aérage d'une puissance qui excède les besoins ordinaires, soit que ces appareils consistent dans de simples foyers, ou dans des machines aspirantes ou soufflantes établies à la surface, et mues par une machine à vapeur ou autre.

Pour satisfaire à la seconde, il faudra, autant que possible, faire circuler le courant d'air en montant, sur le front des tailles où le gaz se développe, quand celles-ci ne seront pas sensiblement horizontales. Si on ne pouvait pas éviter de faire circuler le courant en descendant, il faudrait augmenter sa vitesse dans cette partie du trajet, et la pousser jusqu'à la limite d'un mètre par seconde.

La troisième condition n'exige aucun développement. Enfin, pour régler la vitesse du courant, il faut augmenter ou diminuer la section

de l'espace dans lequel il circule, et fixer cette section en raison de son volume. Ainsi, sur le front des tailles exploitées par remblais on augmentera la vitesse du courant en serrant les remblais, c'est-à-dire en les tenant plus rapprochés du front de taille. Dans les mines exploitées par piliers, on ne subdivisera le courant entre deux ou trois galeries parallèles qu'autant que son volume sera assez grand pour qu'il conserve dans toutes une vitesse suffisante.

Variations dans la quantité de gaz qui se dégage. Influence des variations de pression atmosphérique. — La quantité de gaz inflammable qui se dégage dans les mines n'est point constante; elle varie au contraire entre des limites très-étendues. Les changements de pression atmosphérique ont une grande influence sur le dégagement de ce gaz, qui devient plus abondant quand le mercure baisse dans le baromètre, et diminue lorsque le mercure monte. Ce fait que les observations nombreuses faites dans les mines du nord de l'Angleterre mettent hors de doute, est surtout très-marqué dans les mines où il existe de vieux travaux abandonnés où l'air ne circule point et qui se remplissent de gaz. Comme ils communiquent toujours par quelques fissures avec les galeries fréquentées, on conçoit aisément qu'ils versent leur contenu dans ces galeries, lorsque la pression de l'air y devient moindre, et qu'au contraire, l'air qui circule dans les galeries est absorbé par les mêmes fissures, lorsque la pression extérieure vient à augmenter. L'ingénieur anglais Stephenson a observé des soufflards qui émettaient sous une certaine pression atmosphérique du gaz inflammable, et absorbaient au contraire l'air extérieur lorsque cette pression venait à augmenter. (*Report on accidents in mines*, p. 110.) Il résulte de là que l'aérage des mines à grisou doit être plus actif dans les temps d'orage et de vents violents, qui sont accompagnés d'une diminution de pression atmosphérique, que dans les temps calmes où la pression atmosphérique est plus grande. Les ingénieurs anglais les plus habiles ont pensé qu'il serait bon d'établir à demeure, dans les mines sujettes au grisou, un bon baromètre qui serait consulté par les chefs ouvriers chargés de la surveillance de l'aérage, et pourrait leur faire connaître l'opportunité d'augmenter le volume d'air entrant dans les travaux, avant qu'ils en reconnussent la nécessité par la présence même du gaz inflammable, contenu en plus grande quantité qu'à l'ordinaire dans l'air qui a circulé dans les travaux.

Les variations de pression atmosphérique influent, sans aucun doute, sur le dégagement du gaz acide carbonique, de la même manière que sur celui de l'hydrogène carboné. Les observations précé-

dentes s'appliquent donc aussi au cas où le courant pourrait être surchargé d'acide carbonique, au point de nuire à la santé des ouvriers qui le respirent.

Irruptions subites de gaz inflammable. — Indépendamment de l'émission plus abondante du gaz inflammable, au moment où le baromètre baisse, on rencontre souvent, dans la suite des travaux d'une mine, des points où ce gaz sort en quantité beaucoup plus considérable, et quelquefois même des espèces de cavités, où il est renfermé sous une pression fort grande, et d'où il fait tout à coup irruption dans les travaux, en rompant l'une des parois, lorsqu'elle cesse de présenter une résistance suffisante. Ces cavités sont assez fréquentes dans les mines du Northumberland pour qu'elles y aient reçu un nom particulier dans la langue des mineurs, qui les appellent *bags of foulness*. Enfin, le mineur peut tomber à l'improviste dans de vieux travaux, dont la connaissance était ignorée, ou la position mal connue, et qui se trouvent ordinairement remplis soit de gaz inflammable, soit de gaz acide carbonique.

Soins journaliers qui sont nécessaires dans les mines à grisou. — Au milieu de causes de danger si nombreuses, et dont l'approche ne se manifeste souvent par aucune indice, une prudence et une habileté consommées sont quelquefois impuissantes pour éviter des explosions. Apporter des soins minutieux au bon entretien des voies où l'air circule ; vérifier très-fréquemment et avec attention l'état de l'air qui a parcouru les travaux ; s'assurer que les portes régulatrices, et surtout les portes principales, sont en bon état, et manœuvrées comme elles doivent l'être ; redoubler de soins et de surveillance quand le baromètre baisse, surtout dans les temps d'orage, où la diminution de pression atmosphérique est considérable; prendre les mesures nécessaires pour que l'aérage n'éprouve ni interruption ni ralentissement pendant les jours fériés, et faire reconnaître l'état de l'air, avant la rentrée des ouvriers dans les travaux; tels sont les devoirs essentiels du directeur et des chefs ouvriers, dans une mine sujette au grisou, ou même à des émanations abondantes de tout autre gaz irrespirable. Malgré cela, il peut encore survenir une explosion, par suite d'une irruption imprévue d'une masse considérable de gaz, sortant d'une cavité ou de vieux travaux. Il convient donc de prendre des mesures propres à empêcher qu'une explosion qui aurait lieu sur un point, se propage et fasse sentir ses effets dans toute la mine.

Effets des explosions de gaz inflammable. — Une explosion donne lieu à la production d'une grande quantité de vapeur d'eau et d'acide

carbonique, qui prennent subitement un volume considérable, sous l'influence de la température élevée qui se développe. Son effet immédiat est d'interrompre tout à coup la circulation du courant d'air ventilateur, de le refouler en arrière, et en même temps de renverser les obstacles qui s'opposent à l'extension du gaz dans tous les sens. Les ravages faits dans la mine sont plus ou moins considérables, suivant l'étendue de la masse gazeuse qui s'est enflammée. Ainsi, quand le feu prend sur une taille, ou dans un bout de galerie, les ouvriers qui y travaillent peuvent être brûlés ou blessés plus ou moins grièvement, sans que cela apporte un trouble sensible dans la circulation générale de l'air, et sans que les ouvriers occupés dans les autres parties de la mine s'en aperçoivent. Si la masse gazeuse qui prend feu, est plus considérable, il y a explosion : les gaz produits par la combustion se répandent dans les galeries voisines, renversent les ouvriers qui se trouvent sur leur passage, et quelques portes destinées à diriger le courant d'air. Une partie de la mine plus ou moins étendue se remplit de gaz irrespirables, chargés d'une poussière de houille épaisse, que le courant a enlevée sur le sol des galeries ; l'air frais n'arrive plus dans cette partie des travaux, parce que les portes qui le dirigeaient ont été renversées. Les ouvriers qui s'y trouvent périssent par asphyxie, s'ils n'ont pas le temps ou la présence d'esprit de gagner au plus vite une voie où l'air circule encore. Cependant les grandes voies générales d'aérage sont conservées ; l'explosion n'exerce de ravages que dans une partie restreinte de la mine, où la ventilation n'a plus lieu, tandis que les ouvriers sont en sûreté dans le reste des travaux. Enfin, si la masse gazeuse qui s'enflamme est très-considérable, rien ne peut résister à la force du courant qui suit l'explosion. Les ouvriers, les portes d'air, les boisages, qui se trouvent dans les galeries placées sur le trajet du courant dévastateur, sont renversés. Des pierres, des blocs de houille énormes sont emportés par lui, aussi bien que la poussière fine qui couvre le sol des galeries. Il arrive par la voie la plus facile et la plus large, à un ou plusieurs des puits aboutissant au jour, renverse les machines placées à la surface, s'élève comme un noir tourbillon de fumée, d'où retombent d'abord les pierres, les gros débris, et enfin la poussière de houille, qui va se déposer, comme les cendres rejetées par un volcan, jusqu'à des distances considérables de la mine où l'accident a eu lieu. A la suite de ces épouvantables explosions, les galeries principales sont remplies de gaz irrespirables; un petit nombre d'ouvriers seulement ont été atteints directement, et tués par l'explosion même ; les autres périssent par asphyxie, si on ne leur

porte les secours les plus prompts ; et malheureusement il est, la plupart du temps, impossible d'arriver jusqu'à eux, parce que la circulation de l'air est complétement interrompue, que les portes sont détruites, et que plusieurs galeries peuvent être obstruées par des éboulements. Les moyens de déterminer le courant d'air sont eux-mêmes souvent détruits, ou mis hors de service. Les foyers d'aérage placés au bas du puits, s'il y en avait de semblables, sont inaccessibles, et l'on s'exposerait d'ailleurs, en cherchant à les rallumer, quand ils sont éteints, à provoquer une nouvelle explosion sur le foyer lui-même. Les machines soufflantes ou aspirantes placées à la surface, peuvent aussi être détruites ou fortement dégradées. Enfin, le gaz enflammé peut mettre le feu à des boisages ou à la houille sur quelque point de la mine.

La division des travaux en compartiments isolés les uns des autres, par des massifs de houille suffisamment solides, et percés seulement des voies indispensables à la circulation de l'air et au passage des ouvriers, dont la *fig.* 1, *Pl. XXVIII*, offre un exemple, est une des meilleures dispositions que l'on puisse prendre, pour éviter qu'à la suite d'une forte explosion, la totalité de la mine soit infectée. Il est d'ailleurs évident que cette division en compartiments est indépendante de la méthode particulière d'exploitation, représentée dans la *Pl. XXVIII*, et applicable quel que soit le mode d'exploitation suivi. On conçoit que, si une explosion, même violente, a lieu dans un des compartiments 4, 5 ou 6, les gaz résultant de la détonation tendront d'abord à renverser les portes établies dans les galeries de ce compartiment, et celles qui sont placées entre lui et la voie KK', par laquelle l'air retourne au puits de sortie. Si cette galerie et le puits présentent à la masse gazeuse une issue suffisante, le courant d'air entrant ne sera point arrêté, ou ne sera que refoulé et suspendu pendant un instant, à la suite de l'explosion. Il recommencera ensuite à circuler dans toute la mine, excepté dans le compartiment même dont les portes auront été détruites. Enfin, pour porter secours aux ouvriers qui y seront restés, on pourra suivre la voie par laquelle l'air entre, et l'on tâchera de rétablir successivement les portes renversées, afin que la circulation de l'air dans le compartiment infecté reprenne son cours.

Utilité de donner une grande section aux voies de retour d'air. — Pour que les choses se passent ainsi que je viens de l'indiquer, il faut que la galerie de retour d'air, qui conduit au puits de sortie le courant qui a parcouru les travaux, offre aux gaz résultant de la combustion une issue suffisante, sans quoi les gaz, qui se portent

principalement du côté où ils rencontrent le moins de résistance, reflueraient plutôt par la voie CC′, dans la galerie GG′, par laquelle arrive le courant d'air, et pourraient revenir au jour par le puits d'entrée de l'air. Le courant ventilateur serait alors entièrement renversé. Il est donc très-utile de donner de grandes dimensions aux voies de sortie de l'air, que les mineurs appellent en particulier *galerie d'aérage*. La section de ces galeries, prises ensemble là où le courant est divisé, devrait être plus grande que celle de la galerie par laquelle l'air arrive, et par les mêmes motifs, la section du puits de sortie devrait être plus grande que celle du puits d'entrée de l'air. On peut même remarquer que le volume du courant d'air sortant, dans les mines où il y a des émanations particulières, dépasse toujours le volume d'air entrant, parce qu'il est chargé des gaz qui se développent dans la mine, qu'il se sature de vapeur d'eau, et enfin qu'il prend un accroissement de température; ce qui exige encore, dans l'intérêt de la facile circulation, que les voies de sortie soient plus larges que les voies d'entrée.

Ordinairement, du moins dans les mines de la Belgique et du département du Nord, les voies de retour d'air ont de petites dimensions, et les puits de sortie ont souvent une section beaucoup moindre que les puits d'entrée de l'air. On agit ainsi par économie : ces voies ne servant qu'à l'aérage, et n'étant parcourues, ni par les ouvriers, ni par les chariots, on s'est dispensé de leur donner des dimensions égales à celles des voies de roulage. Il en a été de même pour les puits de sortie de l'air, dans le cas où ils ne servaient pas en même temps à l'extraction de la houille, ce qui est le cas le plus ordinaire dans les mines de la province de Liége. Cette disposition est très-vicieuse, et de nature à augmenter beaucoup l'étendue des désastres occasionnés par l'inflammation du gaz sur un point de la mine.

Moyens de rentrer dans une mine, à la suite d'une explosion de gaz inflammable. Portes de sauvetage.—La première chose à faire lorsqu'on veut rentrer dans une mine, ou portion de mine où il y a eu une explosion, est d'y rétablir la circulation de l'air, ce qui ne peut avoir lieu qu'en remettant en place les portes qui auraient été renversées. Il est nécessaire que cette opération puisse se faire très-rapidement. C'est dans ce but que l'on établit, dans les mines, des portes que l'on pourrait appeler *de sauvetage*, qui demeurent habituellement ouvertes, sont placées à l'abri des détonations, et servent à remplacer les portes ordinaires, quand celles-ci ont été renversées. On en distingue deux espèces. Les premières, appelées en anglais *damm-doors* (*portes-digues*), sont construites avec une très-grande solidité, et placées dans l'intervalle qui sépare deux portes *principales* (*main-*

doors), établies à la suite l'une de l'autre, dans la même galerie. La porte-digue est suspendue par le haut, au moyen de gonds, à la partie supérieure du cadre ou châssis, également très-solide, sur lequel elle s'applique, quand elle est fermée; de sorte qu'elle tourne autour d'un axe horizontal, situé près du faîte de la galerie. Ordinairement, elle est tenue ouverte, suspendue dans une position horizontale, et appliquée contre le plafond de la galerie, dans une entaille assez profonde, pour qu'elle soit à l'abri d'un courant violent qui s'y établirait. Elle est retenue dans cette position par un verrou entrant dans un trou fixe. Lorsqu'une explosion a renversé les portes principales, si l'on peut arriver jusqu'à l'endroit où est établie la porte-digue, il suffit de tirer ce verrou pour qu'elle tombe, s'applique sur son châssis, et remplace les portes détruites. Il est entendu que les portes-digues sont toujours établies dans un point où la galerie est extrêmement solide, et que le châssis, qui peut être en pierre ou en bois, doit présenter une saillie nulle ou très-petite dans la galerie, afin que l'explosion ne puisse pas l'endommager. M. Buddle rapporte (*Report on accidents in mines*, p. 160) qu'une inflammation de gaz survenue dans la houillère de Whitehaven, ayant mis le feu à la houille, dans un des compartiments de cette houillère, le feu fut éteint par la fermeture des portes-digues qui interceptèrent complétement la communication entre le compartiment incendié et l'air extérieur. Ces portes étant demeurées fermées pendant quelques semaines, l'incendie fut complétement éteint.

Les portes de sauvetage de la seconde espèce, appelées en anglais *swing-doors* (*portes-flottantes*), sont placées dans les mêmes endroits que les *portes-digues*. Elles sont suspendues dans la même position, et retenues seulement par une sorte de crochet, qu'il suffit de faire tourner pour que la porte tombe. Ce crochet a un manche, auquel est adaptée une plaque assez large, qui, en cas d'explosion, reçoit le choc du courant, de sorte que la porte est décrochée par l'explosion même. Elle est construite très-légèrement en planches minces. Elle ne s'applique pas contre un châssis, mais elle peut osciller, comme un pendule, de part et d'autre de l'axe de suspension. Il en résulte qu'elle n'est pas emportée par l'explosion, comme le sont les portes lourdes et résistantes, et qu'après quelques oscillations, elle les remplace en partie, et maintient la circulation de l'air, quoique imparfaitement, puisqu'elle ferme mal. En même temps, ces portes légères n'opposent aucun obstacle à la sortie des ouvriers, qui, se trouvant dans le groupe de galeries envahies par les gaz irrespirables, cherchent à en sortir, pour gagner les passages non infectés.

Dangers des puits divisés par des cloisons, dans les mines à grisou. — On ne doit jamais exploiter une mine sujette à un dégagement de gaz inflammable, au moyen d'un puits unique, divisé en deux compartiments par une cloison en bois ou en briques, l'un des compartiments servant à l'entrée, et l'autre à la sortie du courant d'air, parce que, en cas d'explosion violente, la cloison peut être emportée, et qu'il deviendrait alors impossible aux ouvriers qui sont dans les travaux d'en sortir, et à ceux qui sont au dehors de leur porter secours. Les puits divisés en deux offrent, dans les mines à grisou, un danger si grand, qu'il me paraîtrait convenable d'en interdire l'usage par un réglement administratif. Il faut aussi que les voies d'entrée et de sortie de l'air soient partout séparées par des massifs de roche solides ou de remblais, complétement à l'épreuve des explosions, et percés seulement des ouvertures indispensables au service de la mine, ouvertures dans lesquelles sont établies des portes.

Lors du creusement d'un puits, il faut bien, à moins qu'on n'en creuse deux à la fois, dans le voisinage l'un de l'autre, pour les faire communiquer de distance en distance, diviser ce puits pour l'entrée et la sortie de l'air. Il n'y a aucun inconvénient à agir ainsi. Mais la division ne doit être que temporaire. Aussitôt que le puits est arrivé au gîte que l'on veut exploiter, il doit être mis en communication avec un autre, déjà existant, ou dont le foncement a été exécuté en même temps que celui du premier. Cette communication s'établira, en exécutant deux galeries parallèles, séparées par un massif de houille solide, qui sera repercé de distance en distance, pour que l'air arrive jusqu'au bout des deux galeries; pendant ce travail, aucune taille, aucuns travaux d'exploitation de quelque étendue, ne devront être entrepris, s'il y a un dégagement abondant de gaz inflammable. La communication une fois établie, la cloison sera supprimée.

Dans le nord de la France, et la partie limitrophe de la province du Hainaut, le creusement des puits, dans les terrains crétacés supérieurs au terrain houiller, est extrêmement difficile et dispendieux, à cause des nappes d'eau qui s'y rencontrent. C'est pourquoi on a l'habitude de foncer un puits unique, que l'on revêt d'un cuvelage, capable de contenir les eaux jusqu'au dessous des formations supérieures au terrain houiller. Cette partie du puits est divisée par une cloison en deux compartiments, dont l'un, beaucoup plus étroit, contient des échelles inclinées pour le passage des ouvriers. Après être entré dans le terrain houiller, on continue le foncement du puits principal, qui n'est plus divisé, et on exécute en même temps, à côté

de lui, une suite de petits puits verticaux ou inclinés, appelés *tourets* ou *beurtias*, où l'on place des échelles, et qui sont mis en communication avec le compartiment aux échelles de la partie supérieure. L'air descend par le compartiment étroit, les puits aux échelles, et sort par le puits principal d'extraction.

Cette disposition est bien préférable à une division complète du puits, par une cloison continue depuis la surface jusqu'au fond; néanmoins un puits de ce genre doit toujours être mis en communication avec un autre, avant qu'on entreprenne des travaux d'exploitation de quelque étendue, si la mine est sujette au *grisou*, parce que les puits aux échelles n'offrent pas une section suffisante à l'air entrant, et parce que, en cas d'explosion violente, la cloison établie dans le puits principal pourrait être emportée, bien qu'elle ne se trouve qu'à la partie supérieure.

Utilité des échelles pour la sortie des ouvriers, en cas d'accident. — Dans les mines profondes du nord de l'Angleterre, comme dans celles du centre et du midi de la France, on n'établit pas ordinairement d'échelles pour le passage des ouvriers, qui descendent et remontent par les tonnes d'extraction.

Une série d'échelles établie à côté de chaque puits offre un moyen de sûreté précieux, en cas d'accident, aux ouvriers qui sont dans les travaux, et il serait désirable que, dans toutes les grandes exploitations, il y eût au moins une descenderie à côté de l'un des puits, sinon à côté de chaque puits. Les échelles, qui devraient être placées près du puits le moins exposé à être endommagé par une détonation accidentelle, pourraient être fort utiles dans les invasions imprévues d'eau ou de gaz, lors même qu'elles ne seraient pas habituellement utilisées pour l'entrée et la sortie des ouvriers, et que ceux-ci descendraient et monteraient par les tonnes.

Les foyers d'aérage doivent-ils être prohibés dans les mines à grisou? — On a agité la question de savoir si les foyers d'aérage ne devaient pas être proscrits d'une manière absolue, dans les mines sujettes au grisou. On a dit 1° qu'ils étaient eux-mêmes une cause d'explosion, lorsque le courant chargé de gaz, au point d'être explosif, arrivait sur eux; 2° qu'à la suite d'une détonation qui renverserait les portes d'aérage, un mélange gazeux encore explosif pouvait arriver sur le foyer, et y donner lieu à une seconde détonation, plus terrible que la première; 3° que, dans le cas le plus favorable, il était impossible, après une explosion de gaz, de se servir du foyer intérieur, pour rétablir le courant interrompu, et qu'ainsi son secours manquerait, précisément lorsqu'il deviendrait le plus néces-

saire; 4° qu'enfin des machines aspirantes ou soufflantes pouvaient, dans tous les cas, remplacer les foyers, n'étaient pas sujettes aux mêmes inconvénients, et n'occasionnaient pas plus de dépense de combustible que les foyers pour produire les mêmes effets.

Ces objections sont en partie fondées. Il importe seulement de les examiner à fond pour les apprécier à leur juste valeur. C'est ce que je vais essayer de faire, en les reprenant dans l'ordre où je les ai énumérées :

1° Dans l'état actuel de l'art des mines, il faudrait que les travaux fussent disposés d'une manière vicieuse, ou conduits et surveillés avec une négligence bien coupable, pour que l'air qui alimente la combustion du foyer intérieur pût devenir explosif, et qu'ainsi il y eût une première détonation sur le foyer d'aérage. Nous avons expliqué avec des détails suffisants, comment le foyer était alimenté par un courant d'air particulier dans les mines du nord de l'Angleterre et dans celles d'Anzin en France. En suivant la méthode adoptée dans cette dernière localité, il est tout à fait impossible que l'accident dont il s'agit ait lieu, à moins qu'on ne laisse ouverte la double ou triple porte placée entre la chambre du foyer et la voie qui conduit l'air vicié au puits de sortie. Or cette porte doit s'ouvrir très-rarement, uniquement pour porter du combustible dans la chambre du foyer ou faire le feu. L'ouvrier qui est chargé de ce soin, doit être un homme de confiance, et est seul dépositaire de la clef. Je crois donc que la sécurité, sous ce rapport, peut être complète.

Lorsque le puits au bas duquel est établi le foyer n'est pas accompagné de petits puits latéraux contenant des échelles, comme cela a lieu à Anzin, on peut encore obtenir le même degré de sûreté. Il suffit, pour cela, de placer le foyer dans une chambre entièrement isolée par des massifs de roche intacte de tous les travaux intérieurs, qui communique seulement avec le puits de sortie de l'air par une cheminée, et avec le puits d'entrée par une galerie de petite dimension, simplement suffisante pour le passage d'un ouvrier menant un traîneau ou une brouette. Cette galerie creusée, comme la chambre elle-même, dans un massif de roche intact et inébranlable, sera munie d'une double ou triple porte *régulatrice* fermée à clef, que l'on n'ouvrira absolument que pour le service du foyer, et dont l'entrée sera interdite à tous les ouvriers, à l'exception de celui qui sera chargé de l'entretien du feu.

La première objection n'est donc applicable qu'aux foyers d'aérage mal établis, et n'est certainement pas de nature à les faire généralement repousser comme étant toujours dangereux. Cependant il est

il est vrai que le danger serait réel si le foyer n'était pas établi conformément aux règles sur lesquelles j'ai insisté à plusieurs reprises.

2° Le deuxième argument est beaucoup plus fondé que le premier; il est certain que, dans les foyers établis comme ils le sont le plus souvent, même à Anzin, les portes qui isolent le foyer des galeries par lesquelles le courant violent de gaz est obligé de passer pour arriver au puits, peuvent être renversées, et qu'ainsi ce courant, s'il est explosif, peut prendre feu une seconde fois. Mais si le foyer était établi comme je viens de l'indiquer tout à l'heure, ou s'il ne communiquait avec les voies principales que par une seule galerie ou passage étroit d'une assez grande longueur où seraient établies les portes régulatrices, je regarderais le danger de l'arrivée du courant sur ce foyer comme bien moindre, s'il n'était même tout à fait écarté. En effet le courant consécutif à la détonation se précipite par les voies les plus faciles et les plus voisines vers le puits qui doit le conduire au jour. Si le courant fait irruption par le puits de sortie de l'air, sans avoir rencontré sur son passage aucune galerie communiquant avec la chambre du foyer, il est impossible qu'il arrive dans cette chambre en descendant par la cheminée qui la met en communication avec le puits de sortie. S'il fait irruption au dehors par le puits d'entrée de l'air en refoulant le courant ventilateur, il est également peu probable qu'il pénètre dans la galerie étroite et longue, aboutissant au foyer, tandis qu'il a une issue facile vers l'atmosphère par le puits. Dans une explosion, au moment où les gaz s'enflamment, ils exercent une pression très-grande dans tous les sens, et tendent à renverser les parois de l'enceinte qui les contient. Quand ils ont trouvé une issue, ils s'y précipitent avec la vitesse énorme due à la pression primitive, qui s'éteint en même temps que la vitesse augmente, de sorte que le courant renverse, entraîne tous les corps qui se trouvent sur sa direction, tout en n'exerçant latéralement qu'une pression médiocre d'autant moindre que la vitesse est déjà plus grande et qu'il a une issue plus facile. Il résulte de là qu'en évitant complétement de mettre la chambre du foyer en communication avec les travaux intérieurs, en se bornant à l'établissement de la cheminée, qui rejette la fumée dans le puits, et d'une galerie de service assez longue, prenant l'air nécessaire à l'entretien de la combustion dans le puits d'entrée, une irruption du courant vicié sortant de la mine à la suite d'une explosion sur le foyer sera peu à craindre.

Je n'oserais cependant pas affirmer que ces précautions seront toujours efficaces, et qu'il ne pourra jamais arriver que la pression laté-

rale du courant dirigé vers les puits soit assez grande pour qu'une portion de ce courant reflue sur le foyer.

3° Le troisième argument a plus de force encore que celui que je viens d'examiner, par rapport aux foyers établis comme ils le sont généralement dans les mines. Il est certain qu'après une explosion qui a fait irruption au jour, il est presque toujours impossible d'approcher du foyer, et qu'il y aurait même danger de le rallumer avant de s'être assuré que les portes destinées à l'isoler des travaux sont en bon état. Mais si le foyer était établi comme je viens de l'expliquer tout à l'heure, il agirait encore après l'explosion, pour déterminer la circulation de l'air, aussi bien qu'avant. Dans le cas où les gaz auraient fait irruption au dehors par le puits de sortie de l'air en suivant le sens du courant ventilateur ordinaire, il serait facile d'arriver au foyer, puisque la galerie qui y conduit aboutit au puits d'entrée qui ne serait pas infecté, et l'on pourrait activer la combustion pour augmenter la quantité d'air entrante dans la mine. Si les gaz, après l'explosion, étaient sortis en sens inverse du courant ordinaire par le puits d'entrée de l'air, il serait impossible d'arriver jusqu'au foyer avant que le courant eût repris sa direction primitive. Or il peut se faire que le sens du courant d'air demeure renversé, soit par suite d'éboulements intérieurs causés par l'explosion, soit par les changements dans la température et le poids spécifique des gaz qu'elle a occasionnés.

Sans même admettre qu'il y ait eu des éboulements, on peut craindre que, lors des oscillations de l'air qui succèdent à l'éruption des gaz par le puits d'entrée, l'air contenant encore beaucoup d'hydrogène carboné qui existe dans ce puits, n'arrive jusqu'au foyer par la galerie de service en traversant les portes régulatrices, et qu'il n'y ait là une seconde explosion. Bien qu'un pareil accident paraisse peu vraisemblable, attendu que si les portes régulatrices sont demeurées intactes après la première explosion, l'air n'arriverait qu'en petite quantité sur le foyer, et serait délayé dans la masse qui se trouverait de l'autre côté de ces portes, on ne peut cependant pas dire qu'il soit absolument impossible. Il y a donc encore quelque crainte à conserver de ce côté, et il est certain que le renversement du courant d'air et la sortie des gaz viciés à la suite d'une explosion par le puits d'entrée, font naître un danger très-grave; on pourrait toutefois mettre le foyer et la voie particulière qui y conduit à l'abri de toute atteinte; il suffirait d'établir une communication directe entre la chambre où il est établi et le jour par un puits particulier d'un petit diamètre, qui ne communiquerait point avec les travaux

d'exploitation, et servirait exclusivement au passage de l'air nécessaire à l'entretien de la combustion, et à amener le combustible consommé; on maintiendrait, au moyen d'une porte régulatrice, le volume d'air frais dans les limites nécessaires à l'entretien de la combustion. Comme il n'y a aucun danger à ce que les gaz viciés descendent sur le foyer par la cheminée qui conduit la fumée dans le puits de sortie de l'air, je n'hésite pas à dire qu'un foyer, placé comme je viens de le dire, serait exempt de tout danger; mais il aurait l'inconvénient d'exiger pour son établissement une dépense beaucoup plus grande que les foyers ordinaires, dépense qui, dans les cas de niveaux d'eaux ou de terrains difficiles à traverser, serait considérable.

4° Il est certainement possible de remplacer les foyers d'aérage par des machines aspirantes ou soufflantes. Les nombreux exemples que j'ai rapportés et discutés font voir que ces machines, et notamment les ventilateurs à ailes courbes bien construits, sont, sous le rapport de l'économie du combustible, plus avantageuses que les foyers d'aérage, toutes les fois que ceux-ci ne sont pas établis au bas de puits profonds et parfaitement exempts d'humidité, tandis que les foyers sont, au contraire, plus avantageux que les machines, quand ils sont établis dans de bonnes conditions.

Une machine, placée à la surface, peut être renversée par une explosion violente, qui ferait éruption au dehors, par le puits sur lequel elle est placée; et, si cela arrivait, la mine se trouverait, après l'explosion, sans aucun moyen de ventilation, comme on craint que cela n'arrive avec les foyers. Pour soustraire, autant que possible, la machine à cette chance de destruction, il faut l'établir sur un puits d'une petite profondeur, placé à quelque distance, 80 ou 100 mètres du puits principal, et communiquant avec lui par une galerie horizontale. Ce dernier puits serait fermé par un plancher, qui intercepterait la communication avec l'atmosphère. La galerie de communication et le petit puits de la machine devraient avoir une section moindre que celle du puits principal, sans être toutefois assez petite pour que l'air extrait ou introduit par la machine y éprouvât une trop grande résistance par les frottements. En cas d'explosion, si le plancher n'offrait qu'une résistance simplement suffisante pour remplir son but, et supporter la différence des pressions de l'air qui ont lieu dans l'intérieur du puits et dans l'atmosphère, il est vraisemblable qu'il serait enlevé par la violence du courant de gaz qui viendrait le frapper directement, et que la machine placée latéralement demeurerait intacte. On aurait pris d'ailleurs les mesures convenables

pour que la fermeture du puits principal pût être rétablie facilement, et dans un temps très-court.

Enfin, les machines ont l'inconvénient grave de rendre impossible l'extraction des minerais, par le puits sur lequel elles sont placées, qui doit être exclusivement consacré à l'aérage.

En résumé, je conclus de la discussion précédente, 1° que les foyers d'aérage peuvent être établis de manière que la combustion soit alimentée par de l'air ne contenant pas du tout de gaz inflammable, de sorte qu'une première explosion sur le foyer soit tout à fait impossible. Les foyers des mines d'Anzin satisfont à cette condition.

2° Qu'il est même possible de mettre les foyers presque complétement à l'abri d'explosions, qui auraient lieu dans d'autres parties de la mine, en les isolant mieux qu'on ne l'a encore fait jusqu'ici, de tous les travaux intérieurs. Il suffirait pour cela que la chambre du foyer communiquât exclusivement, par une galerie étroite et assez longue, avec le puits d'entrée de l'air, ou avec le jour, par un petit puits spécial. Ces dispositions rendraient l'établissement des foyers plus coûteux; mais leur usage offrirait un degré de sûreté presque complet, et incomparablement plus grand que les foyers actuels. Ainsi établis, ils continueraient encore à fonctionner, même après de fortes explosions, pourvu que celles-ci n'eussent pas renversé le sens du courant.

3° Les explosions qui renversent le sens du courant ventilateur ordinaire sont les plus dangereuses de toutes. On les rendra beaucoup moins fréquentes, en donnant une section plus grande qu'on ne le fait généralement aux galeries et aux puits par lesquels l'air revient au jour. Ces galeries et puits devraient avoir une section plus grande que celle des galeries et puits par lesquels l'air entre, puisque le volume du courant augmente généralement dans le parcours des travaux, tandis qu'on a l'habitude de leur donner une section plus petite.

4° Les machines à pistons ont l'inconvénient de coûter fort cher, d'avoir des dimensions énormes, d'être d'un entretien difficile, et d'exiger des réparations fréquentes. Les ventilateurs à force centrifuge sont d'une construction beaucoup plus simple, moins dispendieuse, et sont, sinon égaux, du moins peu inférieurs aux machines à pistons, sous le rapport de l'économie de la puissance motrice.

Les machines, en général, ont l'inconvénient d'exiger un puits, exclusivement consacré à l'entrée ou à la sortie de l'air, et qu'on ne peut utiliser pour l'extraction des minerais. Afin d'être à l'abri de fortes explosions faisant éruption au jour, elles devraient être placées

à une petite distance des puits d'aérage, sur un petit puits communiquant, par une galerie, avec le puits principal, qui serait fermé par un plancher susceptible d'être remplacé promptement, en cas d'accident.

5° Finalement, la prohibition des foyers d'aérage dans les mines à grisou, serait, dans mon opinion, intempestive et même dangereuse; mais ils devraient être établis autrement qu'ils ne le sont en général, sous la surveillance spéciale des ingénieurs du gouvernement, et conformément à des plans approuvés d'avance par eux. Les ingénieurs devraient également intervenir dans la détermination de la section à donner aux galeries et puits de sortie de l'air.

De la disposition la plus convenable des puits, sous le rapport de l'aérage. — Quels que soient les moyens employés, pour déterminer la circulation de l'air dans une mine, leur effet sera toujours limité et l'aérage deviendra mauvais si les travaux souterrains prennent une étendue disproportionnée à la masse d'air qu'il est possible d'y introduire, et d'y faire circuler. On remarquera que, lorsque l'aérage que peuvent produire les moyens existants, combinés avec une bonne distribution intérieure de l'air, est justement suffisant, cette limite se trouve bientôt dépassée, par les progrès de l'exploitation; car l'accroissement d'étendue des travaux exige l'introduction d'un plus grand volume d'air, qui doit en outre circuler dans des galeries plus longues. Que si quelques-unes des anciennes tailles sont abandonnées, elles n'en laissent pas moins dégager des gaz irrespirables, que le courant doit balayer; elles offrent même un danger plus grave, à cause des variations dans le volume des gaz qu'elles versent dans les voies fréquentées. Il faut donc se résigner à limiter l'étendue des travaux souterrains; en d'autres termes, il faut, si l'on ne veut pas mettre les ouvriers et la mine en péril, creuser un nombre suffisant de puits ou galeries aboutissant au jour. Malheureusement ces travaux sont, en général, très-dispendieux, et la nécessité d'exploiter à bon marché, ou le défaut de capitaux disponibles, mettent trop souvent obstacle au creusement de nouveaux puits, devenus nécessaires. On conçoit donc qu'il est de la plus haute importance de tirer de ceux qui existent tout le parti possible. Et pour cela il faut qu'ils aient été, dès l'origine de l'exploitation, convenablement placés, relativement à la forme du gîte exploité, et les uns par rapport aux autres. Dans beaucoup d'endroits, on creuse à la fois deux puits très-voisins, dont l'un sert à l'entrée, et l'autre à la sortie du courant d'air ventilateur. Dans les mines de houille des environs de Dudley et du pays de Galles, où les couches sont situées à une petite profon-

deur, ces puits accouplés ont habituellement un petit diamètre, servent tous les deux à l'extraction, et sont desservis par une même machine, qui élève une tonne chargée dans un des puits, tandis que la tonne vide correspondante descend par l'autre. Le champ d'exploitation de deux puits semblables a peu d'étendue, et les puits sont multipliés, parce que leur creusement n'occasionne pas de fort grandes dépenses. Dans le centre de la France, à Saint-Étienne en particulier, les puits sont aussi, en général, nombreux et rapprochés, à cause de la division du terrain houiller entre un grand nombre de propriétaires. A Rive-de-Gier, la division de la propriété souterraine a également donné lieu au creusement de puits nombreux, quoiqu'ils aient une grande profondeur, et coûtent assez cher. La multiplicité des puits, dans le département de la Loire, est de nature à faciliter extrêmement l'aérage. Mais les exploitants ne font presque rien pour opérer la bonne distribution de l'air, dans les galeries et sur les tailles; l'emploi des moyens artificiels pour déterminer la circulation dans les travaux, y est peu répandu; il y serait cependant d'une grande utilité dans beaucoup de cas.

Les mines de houille du Northumberland et du Cumberland en Angleterre, du département du Nord en France, du Hainaut et de la province de Liége en Belgique, sont celles où le creusement des puits donne lieu aux plus grandes dépenses, soit à cause de la profondeur à laquelle il faut les creuser, soit surtout par la nature des terrains qu'ils traversent. Aussi les puits y sont-ils beaucoup plus nombreux que dans les contrées dont nous venons de parler. Dans le département du Nord, les puits servent tous, ou du moins peuvent servir à l'extraction de la houille. Ils sont répartis à peu près uniformément sur l'étendue du terrain, sous lequel s'étendent les couches que l'on veut exploiter, en ayant soin de les placer convenablement pour la facilité du transport souterrain de la houille, eu égard à l'allure des couches. La plupart sont mis en communication entre eux, soit pour l'épuisement des eaux, soit pour l'aérage. Il y a en général un seul puits, avec foyer d'aérage intérieur, servant à l'issue de l'air qui descend par deux ou trois autres puits. Souvent aussi l'air qui est descendu par un puits se divise, et va sortir par deux puits munis de foyers.

Dans la province de Liége, on fonce au contraire le plus souvent deux puits dans le voisinage l'un de l'autre, dont l'un sert à l'extraction, et l'autre appelé le puits d'*air* ou la *bure d'air*, sert à l'issue du courant qui a circulé dans les travaux. Au moyen de ces deux puits accouplés, on épuise un champ d'exploitation déterminé, et on ne les met généralement pas en communication avec d'autres puits, du

moins quant à l'aérage et à l'extraction de la houille. La communication est quelquefois établie pour l'épuisement des eaux.

Les bures d'air, dans la province de Liége, ont une section moindre que les bures d'extraction à côté desquelles elles se trouvent, et c'est près de leur orifice qu'ont été établies, dans ces dernières années, les machines aspirantes que l'on a substituées aux foyers.

Dans les mines du nord de l'Angleterre, on trouve souvent deux puits foncés l'un à côté de l'autre, et servant tous deux à l'extraction : mais à mesure que l'on creuse d'autres puits pour les besoins de l'exploitation, on les met en communication avec les premiers.

La coutume liégeoise de foncer un puits spécialement consacré à l'aérage à côté d'un autre qui sert à l'exploitation de la houille, me semble avoir l'inconvénient d'entraîner l'exploitant à donner une fort grande étendue aux travaux d'exploitation, avant de se décider à creuser un autre couple de puits, et il doit en résulter assez souvent un développement de travaux plus grand que ne le comportent les moyens d'aérage. A cela il faut ajouter que l'on donne au puits d'air des dimensions plus petites qu'au puits d'extraction, tandis que c'est le contraire que l'on devrait faire.

En répartissant les puits à peu près également sur la surface du sol sous lequel l'exploitation doit s'étendre, en les employant tous pour l'extraction des minerais, comme on le fait dans le département du Nord, l'exploitant aura moins de peine à se déterminer à creuser un puits nouveau, parce que cela abrégera généralement les distances à parcourir, et par conséquent les dépenses à faire pour le transport souterrain du minerai. Il pourra d'ailleurs facilement satisfaire à la condition très-utile de laisser à l'air sortant un débouché suffisant, en multipliant les puits de sortie de l'air qui lui rendront les mêmes services que les puits d'entrée, sans autre inconvénient qu'une usure un peu plus rapide des câbles d'extraction. Si même il y a, dans quelque partie des travaux, des dégagements particulièrement abondants de gaz irrespirables, on aura l'avantage de pouvoir les conduire au dehors par le puits le plus rapproché, en leur faisant parcourir souterrainement un trajet moins long. Enfin si une détonation a lieu sur quelque point des travaux, je regarde comme impossible, quelle que soit sa violence, que ses effets se fassent sentir dans la totalité des travaux souterrains mis en communication. Les gaz résultant de la détonation se porteront certainement sur un des puits, peut-être sur deux puits à la fois ; mais l'air frais continuera de descendre par les autres, qui offriront ainsi des voies praticables pour pénétrer dans les travaux et porter secours aux ouvriers asphyxiés. Nous pensons

en conséquence que la distribution des puits à peu près uniforme sur la surface du terrain, et leur mise en communication, sont préférables à l'isolement complet des travaux entrepris par deux puits voisins, dont l'un est consacré exclusivement à l'aérage. Le système général adopté à cet égard dans les mines du département du Nord serait tout à fait irréprochable, suivant nous, si le nombre des puits de sortie de l'air était plus grand qu'il ne l'est actuellement. Cette mesure n'entraînerait qu'une faible dépense, et il serait en tous cas facile d'y avoir recours, si le besoin s'en faisait réellement sentir, puisque tout se réduirait à placer des foyers au bas de puits qui n'en seraient pas encore pourvus, et à opérer de simples modifications dans la distribution intérieure du courant d'air.

Moyens d'apprécier le volume du courant d'air qui circule dans les mines. — Dans les mines étendues où il y a des émanations de gaz irrespirables, il ne suffit pas d'avoir pris les dispositions convenables pour obtenir un aérage actif : il faut encore qu'une surveillance assidue soit exercée de la part des chefs-ouvriers, pour assurer l'exécution de toutes les mesures nécessaires à l'entretien du courant d'air ventilateur. Aussi, dans les grandes mines de houille du nord de l'Angleterre, un ou plusieurs ouvriers sont-ils spécialement chargés de cette surveillance ; ils parcourent toutes les parties de la mine, s'assurent que le service des portes d'aérage est bien fait, que le courant d'air circule dans le sens voulu et avec une vitesse suffisante dans les diverses galeries. Ils apprécient la vitesse du courant d'air par un moyen extrêmement simple, et qui, avec un peu d'habitude, paraît être suffisant pour les besoins de la pratique. Voici en quoi il consiste : l'ouvrier choisit, dans la galerie où il veut apprécier la vitesse du courant d'air, une portion qui soit assez large et régulière sur une longueur d'une centaine de mètres. Il parcourt cette distance dans le sens du courant, en tenant à la main une chandelle allumée dont il expose la flamme à l'action du courant, et cherche à prendre une vitesse régulière, telle que la flamme de la chandelle se tienne verticale. Quand il y est parvenu, ce à quoi il arrive assez facilement, la vitesse de sa marche qu'il peut mesurer à l'aide d'une montre à secondes ou apprécier par l'habitude, est précisément celle du courant d'air.

Anémomètre à ailettes. — A ce moyen imparfait, et toutefois suffisant dans la pratique pour un préposé habitué à parcourir une mine, on peut substituer avec avantage l'emploi de l'anémomètre à ailettes que j'ai fait exécuter, et que j'ai décrit dans les *Annales des mines*, t. XIII, p. 103, 3e série. Cet instrument analogue au moulinet de Woltmann, sert à jauger les courants d'air, comme celui-ci sert à

jauger les courants d'eau; il est représenté par les fig. 6, 7 et 8, Pl. XXVIII. Il se compose d'un axe très-délié A, terminé par deux pivots très-fins, tournant dans des chappes d'agathe, et sur lequel sont montées quatre ailettes planes inclinées d'un angle d'environ 50 degrés sexagésimaux sur le plan perpendiculaire à l'axe. Ces ailettes sont formées de feuilles de clinquant fixées sur un léger chassis; elles sont carrées et ont 0m,0225 de côté. La distance de leur bord interne à l'axe est de 0m,0215. Le poids total de l'axe et des ailettes, dans les instruments que j'ai fait exécuter, est de 2 1/2 à 3 grammes. Au milieu de l'axe est taillée une vis sans fin V, laquelle conduit une petite roue de cent dents R, de sorte que celle-ci avance d'une dent pour chaque révolution de l'axe qui porte les ailes. L'axe de cette première roue porte une petite came *c*, qui peut agir sur les dents d'une deuxième roue R'. Celle-ci est maintenue par un *valet*, ou ressort en acier très-flexible Y, attaché à la plaque horizontale PP, sur laquelle est monté l'instrument. A chaque révolution complète de la roue de cent dents menée par la vis sans fin, la came fait sauter une dent de la seconde roue, qui porte cinquante dents; les deux roues sont numérotées de dix en dix dents, la première depuis 1 jusqu'à 10, et la seconde depuis 1 jusqu'à 5. Des aiguilles indicatrices *i*, *i'*, fixées aux montants légers qui portent les chappes de l'arbre des ailes, servent à marquer le nombre de dents dont chaque roue a avancé, et partant à indiquer le nombre des révolutions de l'axe des ailes. Au moyen d'une détente D, et de deux cordons C, C', qui servent à la mouvoir, on peut, à distance, arrêter le mouvement de rotation des ailes, ou leur permettre de tourner sous l'impulsion du courant d'air qui les frappe.

Pour mettre l'instrument en expérience, on ramène d'abord les numéros 0 de chacune des deux roues, vis-à-vis les aiguilles indicatrices respectives correspondantes; puis on place l'instrument sur un pied, au point que l'on a choisi, dans la section transversale de la galerie où circule le courant d'air que l'on veut jauger; l'axe des ailettes est orienté suivant la direction du courant, qui frappe les ailettes par devant, comme le vent frappe les ailes d'un moulin à vent. La détente est placée de façon à ce que le courant ne puisse pas faire tourner les ailettes. On s'éloigne alors de l'instrument, en tenant à la main les deux cordons de la détente, et l'on se place quelque part en dehors du courant; à un instant donné, on tire le cordon de la détente, pour laisser aux ailes la liberté de tourner. On compte le temps qui forme la durée de l'observation, et qui doit être en général de deux ou trois minutes au moins. Quand cet intervalle s'est écoulé,

on tire l'autre cordon de la détente, ce qui arrête le mouvement des ailes, et l'on vient lire sur l'instrument, le nombre de révolutions que les ailettes ont faites pendant la durée de l'observation. Chaque dent de la roue menée par la vis sans fin, représente un tour de l'arbre des ailes, et les centaines de tours sont accusées par la deuxième roue de cinquante dents. Du nombre de révolutions faites par l'arbre des ailes, on conclut ensuite, par une formule appropriée à l'instrument, la vitesse du courant d'air qui a produit le mouvement.

Relation entre le nombre des tours de l'axe des ailes et la vitesse du courant d'air. — Il est facile de démontrer que si les ailes ont une surface assez petite pour qu'on puisse supposer tous leurs points animés de la même vitesse, et si l'on suppose l'instrument assez léger et assez bien construit pour qu'on puisse négliger les résistances au mouvement occasionnées par les frottements, les ailettes exposées à des courants d'air animés de vitesses différentes, prendront des vitesses directement proportionnelles à celles de ces courants. Soit en effet *fig.* 10. *Pl. XXVIII ab* la section d'une surface plane que je suppose assujettie à se mouvoir parallèlement à elle-même, dans une direction marquée par la ligne XY, qui forme avec le plan de la surface mobile un angle *a* CX, que je désigne par α. Si cette surface est exposée à l'impulsion d'un courant fluide indéfini animé d'une vitesse dirigée suivant la ligne *AB* perpendiculaire à XY, elle se mouvra uniformément, sous l'action de ce courant, dans la direction CX, et si aucune résistance ne s'oppose à ce mouvement, elle devra prendre une vitesse telle que l'impulsion du courant fluide sur elle soit nulle. Or l'impulsion du courant sur la surface mobile ne peut être nulle qu'autant que la vitesse du courant n'est modifiée ni en grandeur ni en direction par l'existence de cette surface. C'est ce qui aura lieu, si la vitesse relative du courant par rapport à la surface considérée comme immobile, est dirigée dans le plan de cette surface; dans ce cas, en effet, le courant fluide ne sera aucunement dévié, et la surface fuira devant lui, de façon à se dérober complétement à son action. Or si C*m* représente la vitesse de translation de l'aile et C*n* la vitesse du courant fluide, la vitesse relative du courant par rapport à la surface considérée comme immobile, s'obtiendra en portant sur CY à partir du point C une longueur C*m'* = C*m*, et achevant le parallélogramme rectangle C*nrm*, dont la diagonale C*r* sera la vitesse relative du courant. Cette diagonale se confondra avec *ab*, quand la vitesse relative sera dans le plan de la surface mobile. Le triangle rectangle *Cmr* fournit alors la relation :

$$mr = Cm \text{ tang } mCr = Cm \text{ tang } \alpha.$$

Or $mr = Cn$ est la vitesse du courant que j'appellerai v, Cm est la vitesse de translation correspondante de la surface que j'appelle u. On a donc :

$$v = u \operatorname{tang} \alpha.$$

La vitesse de translation de la surface demeure donc proportionnelle à la vitesse du courant fluide, puisque l'angle α est invariable. Cette vitesse de translation est d'ailleurs d'autant plus grande, pour une même vitesse du courant, que l'angle α est plus petit.

Si l'on suppose qu'une force résistante constante, dirigée de X vers C, s'oppose au mouvement de translation de la surface, la projection sur la direction CX de l'impression normale du courant fluide sur la surface doit demeurer constante et égale à la force résistante. On démontre alors (voir mon Mémoire imprimé dans les *Annales des mines*) qu'en supposant, conformément à la théorie généralement admise, l'impression d'un courant fluide sur une surface frappée obliquement proportionnelle à l'aire de cette surface, au carré de la vitesse du courant projeté sur la normale à cette surface, et à la densité du fluide, les vitesses v et u sont liées par l'équation :

$$v = u \operatorname{tang} \alpha + \sqrt{\frac{Rg}{k\varpi\, a \sin\alpha \cos^2\alpha}},$$

dans laquelle R est la résistante constante, ϖ le poids spécifique du fluide, a l'aire de la surface, g la gravité, et k un coefficient numérique à déterminer par l'expérience.

Le deuxième terme du second membre de l'équation est indépendant, comme on le voit, des vitesses v et u : il est d'ailleurs d'autant plus petit que la résistance R est plus petite, et que le poids spécifique du fluide est plus grand.

On peut assimiler le mouvement des ailettes de l'anémomètre, lorsqu'elles sont frappées par l'air, au mouvement de la surface plane considérée ci-dessus, comme on assimile le mouvement circulaire des palettes planes d'une roue hydraulique plongées dans un courant indéfini ou emboitées dans un coursier, à un mouvement rectiligne; il en résulte que la vitesse du vent est liée à la vitesse que prennent les centres des ailes, dans leur mouvement de rotation, par une équation de la forme

$$v = au + b,$$

dans laquelle a et b sont deux coefficients numériques constant pour un même fluide et un même instrument, qui dépendent d'ailleurs de

l'inclinaison et de la grandeur des ailes, de la densité du fluide et des frottements inhérents à l'instrument. Au lieu de la vitesse u, on peut substituer dans la formule le nombre des révolutions de l'axe des ailettes dans l'unité de temps, et appelant n ce nombre qu'on lit sur l'instrument même, on a, pour déterminer la vitesse de l'air, l'équation :

$$v = an + b \qquad (1).$$

Détermination des coefficients a et b. — L'anémomètre étant construit, les coefficients numériques a et b que l'on peut, sans inconvénient, supposer constants pour de l'air pris à des températures comprises entre 10 et 30 degrés du thermomètre centigrade, doivent être déterminés par des expériences directes.

On peut les faire, soit en fixant, comme je l'ai fait d'abord, l'instrument à l'extrémité d'une tige rigide d'un mètre de longueur environ, à laquelle un mouvement d'horlogerie imprime un mouvement de rotation. La vitesse du mécanisme d'horlogerie est variée à volonté, au moyen d'un volant dont les ailes peuvent être placées sous des inclinaisons variables, de sorte que l'on peut faire un grand nombre d'expériences, dans lesquelles on imprime à l'instrument qui se meut dans l'air stagnant des vitesses diverses. Dans chaque expérience, on connaît la vitesse v, qui est celle imprimée à l'instrument, et le nombre n de tours de l'axe des ailettes dans l'unité de temps. Prenant ensuite l'ensemble de toutes ces équations, on en déduit par la méthode des moindres carrés des erreurs, ainsi que je l'ai développé dans mon mémoire, les valeurs des coefficients a et b qui satisfont le mieux à l'ensemble des expériences.

J'ai trouvé ainsi pour le premier anémomètre que j'ai fait construire :

$$v = 0^m,2578 + 0,0916\, n.$$

La vitesse v étant exprimée en mètres par seconde, et n désignant le nombre de tours des ailes dans le même temps. Cette formule satisfaisait, avec une approximation très-suffisante dans la pratique, à 14 expériences dans lesquelles la vitesse v avait varié depuis $0^m,287$ jusqu'à $4^m,633$ par seconde, et le nombre n depuis 0,286 jusques à 47,962.

A défaut d'un mécanisme d'horlogerie analogue à celui dont j'ai fait usage, on peut se borner à promener l'instrument que l'on tient à la main, dans une longue salle où l'air ne soit point agité. Avec une montre à secondes, on a le temps que l'on a employé à parcou-

rir une distance déterminée, par conséquent la vitesse v correspondante à un nombre n de tours. Trois ou quatre expériences suffisent pour déterminer les coefficients a et b avec une précision suffisante. On pourrait même se borner à deux expériences faites sous des vitesses, dont l'une serait de $0^m,30$ à $0^m,40$ et l'autre de 2 à 3 mètres par seconde. Dans des essais que M. Savary fit en promenant un anémomètre dans la grande salle de l'observatoire, il trouva pour les coefficients a et b de la formule propre à cet instrument les mêmes nombres qui résultaient des expériences faites à l'aide du mécanisme d'horlogerie.

L'anémomètre que je viens de décrire a servi aux nombreuses expériences que j'ai rapportées sur les courants d'air déterminés, dans les mines du département du Nord et de la Belgique, par l'action des foyers et des machines. Il est employé par les constructeurs d'appareils de chauffage et de ventilation des édifices. Un directeur de mines peut tirer des indications de cet instrument un parti avantageux, pour se rendre compte de la manière dont l'air est distribué entre les différents groupes de travaux souterrains, et de l'effet utile des appareils dont il fait usage, pour déterminer la circulation de l'air.

Jaugeage des courants d'air. — Lorsqu'on voudra jauger un courant d'air circulant dans une conduite un peu large, il suffira de placer successivement l'anémomètre en divers points de l'aire d'une même section transversale de la conduite, l'axe des ailettes étant mis dans la direction exacte du courant. L'instrument devra d'ailleurs être posé sur un pied approprié, dont le volume soit très-petit, de façon que sa présence ne puisse pas modifier sensiblement le régime du courant. Dans chaque position, on déterminera le nombre de tours de l'axe des ailettes par seconde, sous l'impulsion du courant. Les ailettes de l'anémomètre sont d'abord arrêtées par la détente, et on les laisse partir à un instant déterminé, en tirant le cordon convenable. On les arrête de nouveau, au bout de deux ou trois minutes, en tirant le deuxième cordon, et l'on vient ensuite lire le nombre total de tours, que l'on divise par le nombre de secondes comprises dans la durée de l'observation. Plusieurs expériences étant faites ainsi, en divers points d'une même section transversale à l'axe de la conduite, il suffira de prendre la moyenne arithmétique des nombres n correspondants aux diverses expériences, et de calculer ensuite par la formule donnée, la vitesse v correspondante à cette moyenne arithmétique. Cette vitesse sera la vitesse moyenne du courant, laquelle, multipliée par l'aire de la section transversale,

donnera le volume d'air qui circule dans la conduite, exprimé en mètres cubes. Il est inutile de calculer les vitesses v particulières aux divers points de la section où les expériences ont été faites parce que la valeur moyenne, entre toutes ces vitesses v, ne diffère pas de la vitesse correspondante à la moyenne arithmétique des valeurs de n, à cause de la forme de l'équation :

$$v = a + b \times n.$$

Des incendies dans les mines de houille.

Causes des incendies. — Nous avons eu occasion de parler, dans ce chapitre et dans celui qui précède, des incendies spontanés qui sont si fréquents dans les mines de houille et autres combustibles minéraux. Il ne sera pas inutile d'ajouter encore quelques mots sur ce sujet. Ces incendies se déclarent surtout au milieu des éboulements consécutifs à l'exploitation des couches de houille puissantes. On les attribue généralement à la décomposition des pyrites contenues soit dans la houille que l'on a été forcé d'abandonner en se retirant, soit dans les schistes qui recouvrent la couche et tombent après que celle-ci a été enlevée, décomposition qui a lieu sous la double influence d'une circulation d'air peu active et de l'humidité. On a cru que la présence de la houille menue, qui est quelquefois volontairement abandonnée dans les travaux, à cause de sa faible valeur insuffisante même, dans quelques localités, pour payer les frais d'extraction, contribuait à leur développement, et l'autorité administrative a prescrit dans plusieurs cas, notamment dans le département de la Loire, l'enlèvement de cette houille comme mesure de précaution contre les incendies. Il est convenable en effet de laisser le moins de houille possible dans les travaux épuisés; mais son enlèvement, fût-il complet, ne suffirait pas pour prévenir les incendies. Je les ai toujours vus se déclarer à la suite des éboulements des schistes qui recouvrent les couches puissantes exploitées dans les départements de la Loire, de Saône-et-Loire, de l'Allier, de l'Aveyron, etc.

Le remblai des excavations est le seul moyen assuré de prévenir les incendies. — Certaines houilles paraissent particulièrement sujettes à ce genre d'accidents ; telles sont celles du bassin d'Aubin. Le seul moyen sûr de les prévenir consisterait à remblayer complétement avec des terres rapportées du dehors les chantiers épuisés, avant qu'il s'y soit fait des éboulements ; cela cons-

titue même un des plus grands avantages qu'offre l'exploitation par remblais des couches de houille, méthode qui est du reste trop rarement adoptée, parce qu'on a de la peine à se déterminer à faire immédiatement une dépense assez grande, dans le but de prévenir un danger éloigné, auquel on espère d'ailleurs pouvoir remédier par des procédés moins dispendieux.

Précautions à prendre dans l'exploitation par chantiers et dépilages. — Lorsqu'on ne remblaie pas complétement les excavations, on a soin, ainsi que nous l'avons expliqué en décrivant la méthode d'exploitation par piliers, de séparer par des portes ou des murs les travaux épuisés des galeries actuellement en exploitation. Malheureusement il est fort difficile d'établir des clôtures hermétiques et imperméables à l'air, dans des galeries dont les parois sont toujours plus ou moins ébranlées et fissurées par la surcharge qu'elles éprouvent de la part du terrain supérieur, à la suite des excavations pratiquées et des éboulements de terrain survenus dans le voisinage. Or les moindres fissures suffisent pour laisser pénétrer une quantité d'air capable d'alimenter une combustion lente qui est bientôt suivie d'un incendie déclaré. La combustion donne lieu à des émanations gazeuses d'une odeur particulière, extrêmement âcre et désagréable, qui se répandent dans les travaux souterrains voisins du point où l'incendie se développe, et sont un avertissement pour les mineurs. Dès qu'elles sont remarquées, il faut visiter minutieusement tous les barrages établis pour isoler les vieux travaux des travaux en activité, et boucher avec soin les fissures que l'on peut découvrir. On parvient ainsi quelquefois à étouffer le feu.

Lorsque le foyer de l'incendie communique avec le jour par des fissures du terrain, les émanations gazeuses tendent naturellement à sortir par ces ouvertures. Il serait inutile d'essayer de les boucher. En agissant ainsi, on n'arriverait en général qu'à refouler dans les travaux une partie des gaz irrespirables auxquels on aurait fermé l'issue naturelle; on comprend en effet l'impossibilité de clore les fissures existantes dans un sol ébranlé par des éboulements, assez hermétiquement pour prévenir tout accès de l'air. Il vaut donc mieux, en général, laisser ouvertes ces sortes de cheminées, et s'attacher uniquement à entretenir les barrages établis souterrainement, afin d'empêcher l'air de les traverser et d'arriver sur le foyer de l'incendie.

Établissement de barrages pour limiter et étouffer les incendies. — Quand un incendie se déclare à l'improviste, ou se propage

rapidement dans une partie des travaux que l'on croyait à l'abri de ses atteintes, il faut se hâter d'enfermer le foyer dans une ceinture de barrages en maçonnerie ou en terre argileuse, dont l'établissement est rendu difficile, pénible et souvent même dangereux, par les gaz irrespirables qui refluent sur les travailleurs. Une cheminée qui conduirait ces gaz au jour serait alors fort utile et donnerait le moyen de continuer les travaux. Dans ces cas d'incendies violents, on est ordinairement forcé d'enfermer dans les barrages plusieurs massifs de houille qui pourraient être exploités avec bénéfice. Après quelques mois l'insuffisance d'air a ralenti les progrès de l'incendie, en a même resserré le foyer dans des limites plus étroites, et l'on peut tenter de reporter les barrages plus en avant, afin de laisser en dehors les piliers exploitables. Ce déplacement des barrages doit être fait avec les plus grandes précautions, et ne doit être commencé que lorsqu'on est certain du ralentissement de l'incendie primitif. Si le foyer principal était à une petite profondeur au dessous du sol, et si les piliers qui ont été enclavés dans la première ligne de barrages étaient solides et sans fissures, il pourrait être avantageux de commencer l'opération en fonçant un petit puits vertical, ou plutôt un trou de sonde de 0m,30 à 0m,50 de diamètre, directement au dessus de ce foyer. Cette ouverture servirait de cheminée pour les émanations gazeuses: elle pourrait être d'ailleurs fermée à volonté, ou ouverte en tout ou en partie suivant les besoins. On reporterait alors rapidement les barrages en avant, sans être incommodé par les gaz chauds et irrespirables qui s'écouleraient au dehors. L'inconvénient de ce moyen consisterait dans l'appel très-énergique de l'air sur le foyer même de l'incendie qui serait ainsi activé; mais cet appel pourrait être modéré, en rétrécissant le puits foré au moyen d'une trappe ou registre analogue à celui des cheminées ordinaires, de manière à empêcher les gaz de refluer sur les ouvriers de l'intérieur, tout en n'excitant qu'un courant d'air insuffisant pour accroître le mal. On a eu recours, dans quelques mines de la Silésie, au moyen que nous venons d'indiquer.

Inondation des mines incendiées. — Dans les houillères, mal exploitées où la masse entière a été divisée par des galeries trop larges en piliers qui ont été écrasés et fissurés par la surcharge du terrain supérieur, où ce terrain est lui-même fissuré par des éboulements, il devient presque impossible d'arrêter les progrès d'un incendie autrement qu'en inondant les travaux. C'est un remède auquel on a recours à la dernière extrémité. Si le foyer de l'incendie est au dessous du niveau des galeries d'écoulement, on abandonne

la mine qu'on laisse se remplir naturellement de l'eau des sources que l'on était obligé d'épuiser pendant l'exploitation. On hâte, quand on le peut, l'inondation en jetant dans la mine les eaux superficielles. Quand les travaux incendiés sont à un niveau supérieur aux orifices des galeries d'écoulement, il faut établir dans celles-ci des serrements qui retiennent les eaux. Enfin il y a beaucoup de cas où il faut se résigner à laisser la houille se consumer, parce qu'il est impossible de la couvrir d'eau. C'est ainsi que beaucoup de houillères continuent à brûler depuis bien des années, en Écosse, dans les environs de Saint-Étienne (Loire), de Decazeville et de Cransac (Aveyron). Quand on s'est décidé à inonder une mine, pour étouffer un incendie, il faut laisser séjourner les eaux assez longtemps pour que les roches soient bien refroidies. Dès qu'elles ont été épuisées, il faut se porter rapidement au point où l'incendie a eu lieu, et prendre les mesures nécessaires pour que l'incendie ne recommence pas au bout de quelque temps. Ici l'établissement des barrages serait presque toujours inutile, à cause des fissures existantes dans les piliers et la masse du terrain. Le meilleur moyen consiste au contraire à traverser le foyer de l'ancien incendie, par une ou plusieurs galeries dans lesquelles on fait circuler un courant d'air très-actif qui rafraîchit la roche et ne permet pas à la température de s'élever, sous l'influence des actions chimiques qui se développent au milieu des matières éboulées. C'est aussi à ce moyen qu'on doit avoir recours, lorsqu'on s'aperçoit que la température s'élève, dans certaines parties d'une houillère qui se trouve dans les circonstances indiquées précédemment. On traverse les quartiers échauffés par des galeries d'aérage, on extrait une partie des matériaux inflammables, et l'on peut ainsi prévenir un incendie qui se serait infailliblement déclaré.

Récapitulation des mesures à prendre pour prévenir ou pour combattre les incendies.—En résumé, les chances d'incendie doivent toujours être prévues dans l'exploitation des couches de houille puissantes, et il est indispensable de tenir compte de cette circonstance dans le choix de la méthode d'exploitation que l'on adopte.

L'exploitation à ciel ouvert pour les gîtes très-puissants qui affleurent au jour, ou l'exploitation souterraine avec remblai complet des excavations épuisées, sont les seuls moyens absolument sûrs de prévenir les incendies.

Si on exploite par piliers, en laissant les excavations se combler, après le dépilage, par des éboulements naturels, il faudra 1° donner aux piliers et aux premières galeries ou tailles des dimensions telles que les piliers ne puissent pas être fissurés par la surcharge des ter-

rains supérieurs, avant le commencement du dépilage; 2° éviter de diviser d'avance une grande étendue de la couche en piliers, et s'arranger de manière que le dépilage commence dans une partie limitée de la mine, presque aussitôt après que les premières galeries y sont terminées; 3° laisser subsister entre les quartiers où le dépilage est en activité et le reste des travaux, de forts massifs de houille repercés seulement des ouvertures indispensables pour l'aérage et le transport souterrain des minerais, ce qui conduit à l'exploitation par compartiments usitée en Angleterre; 4° commencer le dépilage dans les parties voisines des affleurements de la couche, quand celle-ci affleure au jour, et dans la partie la plus écartée des puits d'extraction, lorsque l'exploitation a lieu à une grande profondeur; 5° se hâter, après que le dépilage de chaque quartier est terminé, de l'isoler du reste des travaux par des barrages en maçonnerie ou en terre construits avec le plus grand soin; 6° veiller avec un soin minutieux à l'entretien des barrages.

Quant aux moyens de combattre des incendies existants, ils consistent dans l'établissement de barrages qui empêchent l'air d'arriver sur le foyer de l'incendie, et quand ces moyens ne réussissent pas, dans l'inondation des travaux. Enfin on doit, dans les mines qui ont été mal exploitées et sont criblées de travaux tellement irréguliers qu'il soit impossible d'isoler certaines parties des autres par des barrages, aérer fortement par des galeries ou même par des puits, les parties de la mine où une température élevée accuse des actions chimiques, qui deviendraient infailliblement la cause d'un incendie prochain.

Incendies spontanés des dépôts de houille. Moyens de les prévenir. — Les grands dépôts de houille menue que l'on forme sur les places de déchargement des mines, ou sur les berges des rivières et des canaux, en attendant le moment des ventes, sont sujets à s'échauffer et finissent par s'enflammer spontanément. Les houilles ne sont pas d'ailleurs toutes également inflammables, et ce ne sont pas toujours celles où l'on aperçoit le plus de pyrites, qui le sont davantage.

Pour prévenir les incendies des dépôts de houille menue, il suffit de maintenir ouverts, à la base du tas, plusieurs canaux horizontaux que l'on met en communication avec des conduits verticaux ou cheminées, qui s'élèvent jusqu'à la partie supérieure. La circulation d'air qui s'établit par ces canaux, à travers la masse, empêche la température de s'élever assez pour qu'il y ait combustion vive de la houille. La difficulté consiste à maintenir ouverts les conduits horizontaux

et verticaux ménagés dans les tas. On se borne quelquefois à construire ces canaux avec de gros morceaux de houille appuyés ou posés les uns sur les autres; mais alors ils sont bientôt encombrés et écrasés sous le poids de la houille menue qu'ils ont à supporter; le même inconvénient existe pour des conduits en planches percées de trous.

Dans les mines du district de Waldenburg en Silésie, on imagina, en 1823, de couvrir le sol destiné à recevoir le dépôt, d'un lit de fascines de 30 centimètres environ d'épaisseur, sur lesquelles on versa la houille, en élevant au fur et à mesure des colonnes verticales de fascines appuyées sur le lit horizontal inférieur, et distantes de 2 mètres environ l'une de l'autre. On a formé ainsi des tas de houille menue de 4 mètres et plus de hauteur, sans que le feu s'y soit jamais mis, tandis qu'auparavant les mêmes houilles entassées sans précaution s'échauffaient et prenaient feu en peu de temps. On a remarqué qu'au bout de peu de temps les tas ainsi disposés commençaient à s'échauffer; des gaz chargés de vapeur s'échappaient entre les branches, au sommet des colonnes verticales de fascines, pendant trois ou quatre mois, après quoi la houille se refroidissait et n'était plus susceptible de prendre feu.

Ce moyen paraît avoir bien réussi en Silésie; je ne crois pas qu'il ait été essayé en France.

Éclairage des Mines.

Mode d'éclairage. — Les ouvriers s'éclairent ordinairement, dans les mines, avec des chandelles ou des lampes qu'ils transportent avec eux. Les places d'accrochage, de chargement et de déchargement, et les galeries de roulage qui offrent une suite d'alignements droits, peuvent seules être éclairées avec des feux fixes.

Dans l'exploitation de la plupart des mines métalliques, et des couches de houille peu puissantes, comme celles du département du Nord, quand il n'y a pas de dégagement de gaz inflammable, les mineurs s'éclairent avec des chandelles dites *à la baguette*, de 32 au kilogramme. Elles sont placées dans un manche en fer percé d'un trou dans son milieu et pointu à une de ses extrémités, pour qu'on puisse le ficher dans des étais de bois ou dans les fissures de la roche.

Lorsqu'il descend aux échelles, le mineur passe la partie pointue du manche dans une sorte de fourreau ou d'anneau en cuir, disposé exprès sur le devant de son chapeau. Dans les mines d'Anzin, un mineur reçoit par poste de huit heures quatre chandelles pesant 125 grammes.

Dans l'exploitation des couches de houille puissantes, les petites chandelles de 32 au kilogramme ne donneraient pas assez de lumière, et l'on emploie généralement de grosses lampes en fer dont le réservoir contient de 150 à 200 grammes d'huile. Ce réservoir, dont la forme est celle d'un ellipsoïde très-aplati, est supendu par l'intermédiaire d'une fourchette ou étrier, et d'un boulon tournant, à une tige en fer pointue et munie d'un crochet recourbé près de son extrémité. Le crochet sert à tenir la lampe suspendue entre l'index et le pouce, quand l'ouvrier descend ou monte aux échelles; on fixe la lampe, en enfonçant l'extrémité pointue de la tige dans des étais de bois ou des fentes de la roche.

L'usage des lampes est préférable à celui des chandelles, dans les galeries où il existe un courant d'air un peu vif.

Les frais d'éclairage avec des lampes, par journée de huit heures, sont de 15 à 25 c., suivant le prix de l'huile et suivant que la mèche en coton est plus ou moins grosse. Dans les houillères de la Loire, on évalue à 25 c. par poste la dépense d'éclairage.

Éclairage des mines à grisou.— On se servait autrefois, pour l'éclairage des galeries de mines où il se dégageait du gaz inflammable, de phosphore de Canton (1), ou d'une meule d'acier qui frottait contre un silex. La lumière ainsi obtenue était très-insuffisante; aussi ne faisait-on usage de ces moyens d'éclairage que sur les points où l'air était très-exposé à devenir explosif par un fort mélange d'hydrogène carboné, et l'on conservait les feux ordinaires dans les autres galeries des mines à grisou. Il paraît d'ailleurs que les étincelles du rouet à silex ont quelquefois mis le feu à une atmosphère inflammable.

Lampe de sûreté de Davy.— On doit à Davy la découverte de la lampe de sûreté qui n'est autre chose qu'une lampe ordinaire dont la mèche est entourée d'un cylindre de gaze métallique vissé sur le réservoir; l'illustre chimiste s'assura que la flamme produite par la combustion du gaz de l'éclairage obtenu de la distillation de la houille, mêlé en quelque proportion que ce soit à l'air atmosphérique ordinaire, est interceptée par une toile métallique composée de fils de fer de 1/40e à 1/50e de pouce de diamètre (5 à 6 dixièmes de milli-

---

(1) Le phosphore de Canton est un mélange de chaux provenant de la calcination d'écailles d'huîtres et de farine. Exposé à la lumière et transporté ensuite dans l'obscurité, ce mélange est phosphorescent; il ne conserve toutefois la propriété phosphorescente que pendant un temps assez court.

mètre) et contenant environ 676 à 900 ouvertures au pouce carré anglais (100 à 140 au centimètre carré), et que le gaz qui se dégage dans les houillères est toujours moins inflammable que celui qui sert à l'éclairage.

Ainsi, quand on a vissé sur le réservoir d'une lampe ordinaire un cylindre formé d'une semblable toile métallique, le mélange d'air et de gaz inflammable peut prendre feu dans l'intérieur de l'enveloppe, sans se communiquer au dehors. Davy constata toutefois qu'un courant d'air un peu vif, ou un jet de gaz inflammable animé d'une vitesse modérée et dirigé sur la flamme suffisait pour que celle-ci passât à travers le treillis métallique et se propageât dans l'atmosphère environnante. La lampe de Davy fut acceptée comme un bienfait par les mineurs, et son emploi se répandit rapidement dans les mines du Northumberland, grâce aux recommandations pressantes de M. Buddle et d'autres inspecteurs de mines de ce pays. On donna d'abord au cylindre de toile métallique, 54 millimètres environ de diamètre et 20 à 22 centimètres de hauteur. Le cylindre était fermé à la partie supérieure, soit par une feuille de cuivre amboutie et percée de petits trous d'un millimètre de diamètre environ, autour de laquelle le cylindre de gaze était attaché par un fil de fer logé dans une gorge rentrante ménagée à cet effet, soit par un double couvercle en toile métallique semblable à celle de la paroi cylindrique. La lampe de Davy est représentée *fig.* 4, *Pl. XXVII.*

L'usage de ces lampes n'a donné lieu à aucun accident, toutes les fois qu'elles ont été employées avec les précautions que Davy lui-même avait indiquées, ou qu'une agitation assez forte de l'air causé par la chute de la lampe ou autre cause accidentelle n'a pas déterminé le passage de la flamme à travers le treillis. Elles donnent d'ailleurs assez de lumière dans les galeries basses pratiquées dans les couches de houille dont la puissance n'excède pas 1 à 2 mètres. Mais cette lumière est insuffisante, dans les couches de houille puissantes où le mineur risque d'être victime d'éboulements subits, qu'il aurait prévus s'il eut pu apercevoir les fissures de la roche; aussi lorsque l'administration prescrivit l'emploi exclusif des lampes de sûreté dans les houillères de Rive-de-Gier sujettes au *grisou*, les mineurs se plaignirent du défaut de clarté. On chercha à remédier à cet inconvénient en augmentant les dimensions du réservoir et du cylindre de toile métallique des lampes employées en Angleterre et dans les mines d'Anzin. On porta le diamètre du cylindre jusqu'à 65 millimètres, conservant un treillis de 140 ouvertures au centimètre carré, et une hauteur de 20 centimètres à l'enveloppe. Ces lampes furent trouvées

aussi sûres que celles d'un plus petit diamètre ; elles éclairent beaucoup mieux, mais laissent encore beaucoup à désirer sous ce rapport.

Malgré l'introduction des lampes de Davy dans les houillères *à grisou* de l'Angleterre et du continent, il y a toujours eu des accidents causés par des explosions de gaz inflammable : il est même certain que le nombre des accidents de ce genre, survenus dans les mines du nord de l'Angleterre, a été plus grand dans les années qui ont suivi l'introduction de la lampe de Davy dans les mines de houille, que dans les années précédentes. La cause en est sans doute au plus grand développement des travaux des mines, et surtout à ce que l'on osa, armé de la lampe de Davy, reprendre des exploitations qui étaient réputées auparavant inabordables, et exécuter des travaux de dépilage qui eussent été trop dangereux, avec l'ancien mode d'éclairage. Enfin, il faut le dire, la confiance que l'on a mise dans la lampe de sûreté a peut-être entraîné une surveillance moins active de l'aérage, et détourner les mineurs habiles de faire des tentatives et des recherches, dans le but de le rendre moins imparfait. Davy avait constaté et publié que la gaze métallique de sa lampe était traversée par la flamme, lorsqu'elle était poussée contre le treillis par un courant d'air. Il avait donc engagé à mettre la flamme à l'abri des courants, au moyen d'un écran. Ces circonstances, qui diminuaient beaucoup le degré de sécurité de l'appareil, ont été trop peu remarquées, et lorsque des accidents sont survenus, on a été beaucoup trop disposé à en rejeter la cause sur l'imprudence des ouvriers, une mauvaise confection, ou une négligence dans l'entretien des lampes, au lieu de l'attribuer à l'insuffisance de l'aérage, cause première du mal.

Expériences de M. Bischoff sur les lampes à treillis métalliques. — Dans ces dernières années, M. Bischoff, professeur à l'université de Bonn, dont nous avons déjà cité les recherches sur la composition du gaz inflammable des houillères, a fait des expériences directes sur les lampes de sûreté de divers diamètres, dans des mélanges d'air et de gaz inflammable qui se dégageait dans quelques houillères du bassin de Saarbrücken, et dans celle de la principauté de Schaumbourg. Les expériences ont été faites dans la mine de Gerhard (près Saarbrücken), dans une cavité creusée à cet effet dans la roche du toit d'une galerie où se dégageait le gaz inflammable. Cette excavation haute de $4^{m},50$, longue de $1^{m},50$ et large de 1 mètre environ, avait une capacité de $6,45^{m.cub.}$.

On fit six espèces de tissus en fil de laiton, et de chaque espèce on forma cinq cylindres de diamètres différents, de manière qu'on eut

30 cylindres dont les diamètres et le nombre des orifices au centimètre carré sont indiqués dans le tableau suivant :

NOMBRE des orifices au centimètre carré.	DIAMÈTRES EXPRIMÉS EN MILLIMÈTRES.				
	40	46	56	60	79,5
57	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
46	6	7	8	9	10
28	11	12	13	14	15
24	16	17	18	19	20
16	21	22	23	24	25
9	26	27	28	29	30

1. La lampe n° 1 fut tirée dans l'espace rempli de grisou. Le tissu fut tout de suite chauffé au rouge. La lampe s'éteignit dès qu'elle fut tirée plus haut. Elle fut suspendue dans l'espace rempli de gaz pendant dix minutes.

2. Il en fut de même de la lampe n° 2.

3. La lampe n° 3 fut chauffée au rouge, dès qu'on lui donna un mouvement de rotation assez rapide. Après qu'elle eut été suspendue dans cet état, pendant dix minutes, la ficelle à laquelle elle était attachée brûla, la lampe tomba, mais sans donner lieu à une explosion.

4. La lampe n° 4 fut chauffée tout de suite au rouge, quand on la fit tourner rapidement. Après cinq minutes, elle s'éteignit avec une espèce de bourdonnement. Le réservoir d'huile et le cylindre étaient si chauds, qu'on pouvait à peine les toucher.

5. La lampe n° 5 fut à l'instant chauffée au rouge, en lui donnant un mouvement de rotation rapide. On la laissa dans cet état pendant huit minutes; après ce temps, il y eut une explosion. En examinant le tissu de plus près, on trouva qu'il avait été brûlé, parce qu'il était resté trop longtemps à l'état d'incandescence.

Les 5 lampes ayant 46 ouvertures au centimètre carré furent soumises à des essais semblables : on les tint pendant un intervalle de

temps de 5 1/2 à 8 1/2 minutes, suspendues dans ce mélange explosif, en les agitant de temps en temps. Quand on retira les lampes, l'huile bouillait dans le réservoir. Il n'y eut explosion dans aucun cas.

Les lampes n°s 11, 12, 13 et 14, ayant des enveloppes de 28 ouvertures au centimètre carré, furent soumises aux mêmes épreuves.

La lampe n° 11 fut aussitôt chauffée au rouge. Au bout de six minutes, on lui imprima un mouvement très-rapide pendant une minute. Il n'y eut pas d'explosion.

La lampe n° 12 devint tout de suite rouge; elle s'éteignit au bout de deux minutes.

La lampe n° 13 devint aussi rouge à l'instant; elle resta suspendue pendant 7 minutes et 1/2.

La flamme, devenue très-intense, jetait des étincelles. Elle s'éteignit sans explosion quand on imprima à la lampe un mouvement rapide.

La lampe n° 14, garnie d'une gaze de 28 ouvertures au centimètre carré et de 60 millimètres de diamètre, communiqua tout de suite l'incendie au dehors. Les autres lampes ne furent pas expérimentées.

(Ces essais ont été faits non par M. Bischoff lui-même, mais par M. Müller, maître mineur en chef à Louisenthal.)

On essaya aussi les lampes dans du gaz de la mine de Wellesweiler; mais les essais ne furent ni aussi nombreux ni aussi décisifs. M. Bischoff croit avoir reconnu que le gaz de Wellesweiler donne lieu à des mélanges plus fortement explosifs que celui de la mine Gerhard. Mais les essais n'ont pas été faits avec assez de soin pour qu'il soit permis de regarder le résultat comme certain.

Enfin, M. Bischoff a essayé les lampes de sûreté dans le gaz inflammable sortant d'un puits artésien de la principauté de Schaumbourg, lequel contient, d'après son analyse, 16 p. 0/0 de gaz oléfiant. Il plaçait tout simplement la lampe à essayer, allumée, dans l'orifice du tuyau de pompe. Il a trouvé que les lampes qui étaient parfaitement sûres dans les gaz des mines de Gerhard et de Wellesweiler ne l'étaient plus ici, et communiquaient l'incendie au dehors. Il essaya alors les lampes dont on se servait dans le territoire de Schaumbourg, et dont les enveloppes avaient 93 ouvertures au centimètre carré. *Dans aucune circonstance, il ne fut possible de faire communiquer à ces cylindres l'incendie au dehors.* Ainsi donc, le gaz de la dernière localité était bien plus dangereux que les premiers, ce qui est dû à la présence du gaz hydrogène bicarboné.

Il résulterait des essais de M. Bischoff que le nombre des ouvertures

du treillis pourrait être fixé à 100, dans les mines de houille, avec sécurité. Je conseillerai cependant de s'en tenir aux treillis de 120 à 140 ouvertures au centimètre carré, dont on fait généralement usage en Angleterre, en France et en Belgique. Il est évident en effet qu'il est possible de rencontrer dans les mines des mélanges plus inflammables que ceux sur lesquels on a expérimenté dans la mine de Gerhard, et dont la composition chimique n'a pas été déterminée. Tout ce que l'on peut conclure des expériences de M. Bischoff, c'est que l'augmentation du diamètre du cylindre en gaze métallique au delà de certaines limites rend la lampe beaucoup moins sûre.

Nouvelles lampes de sûreté. Lampe d'Upton et Roberts. — Les observations nombreuses desquelles il résulte que la flamme, quand elle est poussée par un courant d'air, passe à travers un treillis de 100 à 140 ouvertures au centimètre carré, et l'insuffisance de la lumière des lampes de Davy dans beaucoup de cas, ont conduit plusieurs personnes à modifier ces lampes, pour les rendre plus sûres ou pour augmenter leur pouvoir éclairant. Parmi les lampes assez nombreuses qui furent soumises au comité d'enquête de la chambre des communes, on distingua celle qui fut présentée par J. Roberts, ancien ouvrier mineur; elle diffère de la lampe de Davy : 1° en ce que le cylindre en gaze métallique est entouré, depuis sa base jusqu'à la moitié ou aux deux tiers de la hauteur, d'un cylindre épais en cristal, maintenu en place par un cylindre en cuivre qui environne la partie supérieure de la toile métallique, et se visse sur une couronne supportée par les quatre ou cinq tiges en fil de fer qui forment la cage extérieure de la lampe. Le cylindre en cristal est pressé par le cylindre en cuivre, entre deux rondelles annulaires de drap, dont l'une est adaptée au bas de ce dernier cylindre, et l'autre repose sur le réservoir de la lampe; 2° l'accès latéral de l'air étant ainsi prévenu, l'air nécessaire pour alimenter la combustion de la mèche, arrive dans le corps de la lampe par une rangée circulaire de trous percés tout autour de la partie supérieure du réservoir, à la hauteur de la base du porte-mèche. Il traverse deux rondelles annulaires de gaze métallique très-serrée, contenues dans des montures légères en cuivre, et posées horizontalement au dessus de la rangée de trous; 3° après avoir traversé cette double toile, l'air ne se répand pas encore librement dans le corps de la lampe; mais il est dirigé tout près de la mèche, dont il doit alimenter la combustion, par une pièce que l'auteur appelle le cône; sa forme est à peu près celle d'un pavillon de cor, dont la grande base reposerait sur le réservoir d'huile, et qui serait coupé à la hauteur du porte-mèche, où existe une ouverture circulaire au

centre de laquelle se trouve la mèche, et dont le diamètre est un peu plus grand que celui d'une pièce de cinquante centimes. Il résulte de cette disposition que la totalité de l'air entrant dans la lampe rase la mèche de très-près, et l'expérience prouve que l'air contenu dans les parties latérales de la lampe, près de la toile métallique, et entre cette toile et le cylindre en cristal est impropre à l'entretien de la combustion.

Les expériences faites sur la lampe de Roberts, devant la commission d'enquête de la chambre des communes, celles que j'ai faites moi-même sur des lampes de ce genre, que l'administration des mines a fait venir de Londres, prouvent qu'elle est complétement sûre dans toutes les circonstances, et au milieu des mélanges les plus explosifs, qui se rencontrent dans les mines de houille.

Ainsi la vitesse du courant, l'agitation de la lampe au milieu de l'air explosif, ne déterminent jamais le passage de la flamme au dehors. Devant la commission de la chambre des communes, on a dirigé sur cette lampe un jet de gaz inflammable, composé de trois ou quatre parties en volume d'hydrogène pur, et d'une partie de gaz de l'éclairage. La lampe de Roberts a parfaitement résisté à cette épreuve. Les lampes de Davy, de Stevenson, et toutes les autres soumises au même essai, ont laissé passer la flamme. Dans les expériences que j'ai faites moi-même, j'ai employé du gaz hydrogène pur, et je n'ai réussi qu'une seule fois, contre beaucoup de tentatives inutiles, à faire passer la flamme à travers les trous destinés à l'introduction de l'air.

J'ignore si l'usage de la lampe de Roberts, malgré sa supériorité incontestable, sous le rapport de la sûreté contre l'inflammation du gaz, s'est répandu dans les mines d'Angleterre. On peut craindre que le cylindre extérieur en cristal ne vienne à casser, ce qui réduit l'appareil à une lampe de Davy ordinaire. Ce danger me paraît peu important, parce que le cristal est si bien protégé que la fracture serait un accident bien rare. Une objection beaucoup plus forte, contre l'emploi de cette lampe dans les mines, consiste en ce qu'elle donne encore moins de lumière que la lampe de Davy.

Lampe de M. E. du Mesnil. — M. E. du Mesnil a présenté, en 1838, à l'Académie des Sciences et à M. le directeur général des ponts et chaussées et des mines, une lampe établie sur un principe analogue à celui de Roberts. Toutefois l'exécution est fort différente.

Dans la lampe de M. du Mesnil (*Pl. XXVIII, fig.* 5), le réservoir d'huile est établi latéralement, et l'huile arrive à la mèche par un conduit placé au dessous de la plate-forme circulaire P. La mèche est

plate, en coton tressé. L'air nécessaire à la combustion est amené sur les deux faces par deux conduits inclinés C,C′, coiffés d'une gaze métallique en fil de fer ou de laiton, que l'on peut changer très-facilement quand elle est usée. Le cylindre en toile métallique de la lampe de Davy est supprimé, et remplacé par un cylindre en cristal recuit, très-épais, M; la plate-forme supérieure P′ repose sur ce cylindre, qu'elle déborde de deux centimètres environ. Le cristal, serré entre les deux plates-formes P et P′, est protégé par des tiges en fil de fer assez écartées pour ne pas intercepter une portion notable de la lumière. Au dessus de la plate-forme supérieure P′ s'élève une cheminée d'un diamètre moindre que celui du cylindre en cristal, et dont la hauteur est assez grande. Elle est à double paroi; la paroi interne descend un peu dans le corps de la lampe, où elle s'évase en forme d'entonnoir renversé. La cheminée se termine par un orifice rétréci, qui n'est garni d'aucune toile métallique. La hauteur totale de la lampe, y compris la cheminée, est de $0^m,40$ à $0^m,44$.

La lampe de M. du Mesnil offre le même degré de sûreté que celle de Roberts, tant qu'elle est intacte. Ainsi des expériences faites à Paris et à Saint-Etienne constatent qu'elle ne laisse pas passer la flamme qui remplit le cylindre en cristal, quand elle est plongée dans un mélange explosif, beaucoup plus inflammable que ceux qui se rencontrent dans les mines. On a aussi essayé à Saint-Étienne, de jeter des gouttes d'eau froide sur le cristal, lorsque le gaz brûlait fortement dans l'intérieur; le cristal a résisté, ou bien il s'est étoilé sans que les fragments se séparassent les uns des autres. Enfin, cette lampe éclaire mieux qu'aucune autre, ce qui est un point de la plus haute importance.

Essais faits à Liége par une commission d'ingénieurs. — Une commission instituée à Liége par le gouvernement de Belgique a soumis les diverses lampes de sûreté à des essais, dont les résultats ont été imprimés à la suite du *Recueil des mémoires sur l'aérage des mines*, couronnés par l'Académie de Bruxelles.

Elle a reconnu que la rupture de trois ou quatre mailles contiguës, ou des trous arrondis de trois à cinq millimètres de diamètre pratiqués dans le treillis, à six ou huit centimètres au dessus de la mèche, ou dans la calotte de cuivre dont la toile est surmontée, n'ont pas suffi pour que la combustion se propageât de l'intérieur à l'extérieur de la lampe. Tout ce que les commissaires ont pu remarquer, c'est que la présence de ces défauts amenait une perturbation dans l'allure ordinaire de la lampe. La flamme était moins fixe, et semblait tournoyer dans l'intérieur de la toile métal-

lique. On vit à deux reprises un pointe de flamme sortir par l'un des trous jusqu'à 1/2 centimètre de distance du réseau métallique, et s'éteindre aussitôt, « probablement dit la commission, parce qu'elle »était étouffée par une forte proportion d'acide carbonique résultant »de la combustion et lancé au dehors par le trou qui avait livré pas»sage à ces jets de flamme. »

Tandis qu'une ouverture de 5 millimètres de diamètre pratiquée vers le haut du cylindre de gaz métallique, ne détruisait pas, dans des circonstances ordinaires, les propriétés préservatrices de la lampe de Davy, il suffisait d'un défaut de moins de deux millimètres d'ouverture, pratiqué à peu près à la hauteur de la mèche, pour que l'explosion eût lieu. Cette explosion était favorisée, lorsque le courant de gaz ou de mélange détonant était dirigé sur la mèche. Les expériences ont été faites dans des mélanges en proportions variées de gaz oléfiant provenant de la distillation de la houille et d'air atmosphérique, sur des lampes dont la toile présentait 144 mailles par centimètre carré, savoir : épaisseur des fils 28/100es de millimètre; largeur des trous 56/100es de millimètre, ce qui fait 5/9 de plein et 4/9 de vide. (P. 450 du *Recueil des mémoires sur l'aérage.*)

La lampe de Davy, essayée dans un mélange d'air et d'hydrogène pur, a laissé passer la flamme, même lorsque le treillis avait 215 mailles au centimètre carré, au lieu de 144.

La lampe d'Upton et Roberts a résisté dans ce dernier mélange.

La même lampe, dépouillée de son cylindre en cristal, et placée dans un mélange détonant d'air et de gaz oléfiant, a déterminé des explosions deux fois de suite. Cela tient à ce que la toile métallique dont elle était munie n'avait que 100 mailles au centimètre carré au lieu de 144. Les fils étaient d'ailleurs assez minces pour qu'il y eût $\frac{9}{16}$ de vide et $\frac{7}{16}$ de plein seulement.

La lampe Dumesnil résiste dans un mélange d'air et d'hydrogène pur, comme dans un mélange d'air et de gaz oléfiant, lorsque les toiles métalliques qui recouvrent les tuyaux adducteurs de l'air ont environ 400 mailles au centimètre carré; la même lampe résiste encore, dans le mélange d'air et de gaz oléfiant, quand ces toiles de 400 mailles au centimètre carré sont remplacées par des toiles en fil de fer de 144, et même des toiles en fil de cuivre de 126 mailles au centimètre carré. Dans le mélange d'air et d'hydrogène pur, il y a eu explosion lorsque les toiles métalliques de 400 ont été remplacées par des toiles en cuivre de 215 mailles seulement au centimètre carré. La commission n'a pas pu s'assurer si, dans ce dernier cas, l'explosion avait eu lieu par retour de la flamme contre le courant d'air entrant

Essais faits en France sur les lampes de MM. Dumesnil et Mueseler. — On a essayé en France, dans les mines d'Anzin de Rive-de-Gier et de la Grand-Combe les lampes de MM. Dumesnil et Mueseler. On a trouvé que la première était d'un transport très-difficile et s'éteignait pour peu qu'elle fût agitée. La seconde présente le même inconvénient, quoiqu'à un moindre degré ; mais elle a le désavantage de ne projeter la lumière que dans une zone d'une très-petite hauteur, à cause de la nécessité ou l'on est de tenir l'orifice inférieur de la cheminée en tôle très-rapproché de la mèche, afin d'isoler le courant ascendant des gaz brûlés du courant d'air qui descend le long des parois du cylindre en cristal, pour venir alimenter la combustion. Cet inconvénient est surtout très-grave dans les galeries d'une grande hauteur et peut donner lieu à de graves dangers.

Essai de construction d'une lampe qui réunit les avantages particuliers aux divers systèmes. — J'ai essayé de réunir les avantages particuliers aux trois lampes de Roberts, du baron Dumesnil et de M. Mueseler dans un appareil qui n'aurait pas les inconvénients de chacun de ces systèmes. La *fig.* 4 Pl. *XXVIII*, représente la lampe ainsi modifiée, qui me paraît, d'après les essais que j'en ai faits, devoir être d'un bon usage. R est le réservoir d'huile disposé comme dans la lampe ordinaire de Davy et de J. Roberts. Il est surmonté d'un rebord cylindrique percé, dans la partie contiguë au couvercle du réservoir, d'une série circulaire de trous par lesquels arrive l'air nécessaire à la combustion. Cet air traverse deux rondelles superposées de toile métallique de 150 à 200 ouvertures au centimètre carré, posées par leur contour sur une saillie ménagée dans le rebord, au dessus de la rangée de trous. Ces rondelles, dont une est représentée, *fig.* 4 (B), sont maintenues, ainsi que le porte-mèche, par une virole vissée dans une petite tubulure filetée qui entoure le trou du porte-mèche. Un disque *cc* ambouti en forme de pavillon de cor, percé d'une ouverture circulaire concentrique à la mèche est posé par dessus les rondelles, et amène la totalité de l'air qui a traversé les toiles métalliques au centre de la lampe et au contact de la flamme. Cedisque est maintenu en place par la cage qui contient l'enveloppe supérieure de la lampe; celle-ci est formée de six fils de fer verticaux assemblés dans deux viroles en cuivre V, V'. La virole inférieure V se visse dans la partie supérieure du rebord du réservoir. Toutes ces dispositions sont imitées de la lampe de Roberts. L'enveloppe qui est un cylindre en cristal CC s'appuie sur une rondelle de drap collée sur le contour de la virole inférieure. Elle est maintenue en place par la partie supérieure de la lampe qui se compose d'une cheminée cylindrique

en toile métallique K, protégée par quatre tiges en fil de fer, d'une virole en cuivre portant une rondelle en toile métallique, et filetée extérieurement pour qu'elle puisse se visser dans l'intérieur de la virole V', et venir presser les bords supérieurs du cylindre en cristal qui est ainsi maintenu en place. Une couronne de drap est collée au fond d'une gorge annulaire dans laquelle pénètrent les bords de ce cylindre. Enfin la rondelle en toile métallique supporte à son centre un petit tuyau en cuivre qui s'enfonce dans l'intérieur du cylindre en cristal, sert de cheminée, et active le tirage et l'aspiration de l'air par les trous percés au dessus du réservoir. Les gaz brûlés passent par ce tube, arrivent dans l'enveloppe en toile métallique K et se répandent finalement dans l'atmosphère. La rondelle en toile métallique au centre de laquelle est fixé le tuyau T, laisse subsister un vide annulaire par lequel les gaz peuvent s'échapper entre le pourtour du tuyau T et le cylindre en cristal. Il en résulte que les gaz impropres à l'entretien de la combustion ne peuvent pas s'accumuler dans cet espace, ce qui fait que la lampe peut être agitée dans l'air assez fortement, sans s'éteindre, comme on le reproche à la lampe de M. Dumesnil. La lampe que je viens de décrire s'éteint en effet dès qu'on l'agite un peu, lorsqu'on remplace par un disque métallique plein la rondelle en toile métallique au centre de laquelle est le tuyau T.

Dans la lampe précédente, qui n'est réellement que la lampe de MM. Roberts et Dumesnil légèrement modifiée, le tuyau T est fort court, et il est inutile qu'il descende très-bas dans l'intérieur du cylindre en cristal. Les *fig.* 4, 4 (A) et 4 (B) sont d'ailleurs dessinées à l'échelle indiquée sur la planche. Les dimensions principales sont les suivantes :

	Millim.
Diamètre intérieur du cylindre en cristal.	55
Épaisseur du cylindre.	5 à 6 (1)
Hauteur.	110
Diamètre du tuyau T.	25
Longueur *id.*	95
Hauteur totale de la lampe y compris le réservoir. . .	270

Ces dimensions ne peuvent rendre le transport de cette lampe diffi-

(1) Il faut donner au cristal une épaisseur suffisante pour qu'il ne se casse pas, par une chute accidentelle de la lampe. Tout excès d'épaisseur serait plutôt nuisible qu'utile.

cile, et tout nous porte à croire qu'elle sera d'un usage facile et avantageux dans les mines.

Avantages des lampes à enveloppes en cristal. — Les lampes à enveloppes en cristal seront probablement employées bientôt concurremment avec les anciennes lampes de Davy. Elles seront préférées pour l'exploitation des couches de houille puissantes, où ces dernières n'éclairent pas suffisamment. On ne doit pas trop s'effrayer de la fragilité du cristal qui résiste bien au choc, quand il est assez épais, et aux variations de température, quand on a eu soin de le faire préalablement recuire dans un bain d'huile de lin. C'est une précaution que devront prendre les constructeurs de lampes de ce genre.

Il est bon que les lampes de sûreté de tout genre soient pourvues d'un mode de fermeture qui ne permette pas aux mineurs de les ouvrir. Un des moyens les plus simples d'obtenir ce résultat consiste à traverser toutes les pièces dont se compose la lampe, et qui sont vissées l'une sur l'autre par une tige filetée qui pénètre dans un écrou taraudé dans une de ces pièces, et qui ne puisse être dévissée qu'à l'aide d'une clef dont le creux, à section triangulaire, s'adapte sur l'une des extrémités de la tige terminée en prisme à base triangulaire, et enfoncée, comme l'axe du barillet d'une pendule, dans une cavité assez étroite pour qu'on ne puisse pas la saisir avec les doigts ou avec une pince. Cette disposition est assez simple pour que nous n'insistions pas davantage sur ce sujet.

Lampes fixes à réservoir d'huile latéral et à réflecteur. — Pour les feux fixes servant à l'éclairage des places de chargement ou d'accrochage, et des galeries de roulage à longs alignements droits, les lampes à enveloppe de cristal sont incontestablement préférables aux lampes à treillis métallique. Elles doivent être attachées de manière à ce que le cristal soit parfaitement abrité contre la chute des corps solides, et qu'on n'ait pas non plus à craindre la chute de la lampe. Il convient d'ailleurs de placer le réservoir d'huile latéralement, comme dans les quinquets ordinaires. M. Mueseler a construit des lampes de ce genre, dans lesquelles le réservoir d'huile latéral a la forme d'une portion de cylindre qui embrasse la partie de l'enveloppe en cristal tournée du côté de la paroi. La face du réservoir est étamée de manière à ce qu'elle serve de réflecteur.

Moyens de porter secours aux ouvriers asphyxiés. — Il arrive assez souvent que des ouvriers sont asphyxiés dans les mines, par les mofettes qui sortent des fissures de la roche, de vieux travaux, ou qui résultent d'actions chimiques telles que la décomposition des

matières végétales ou animales, la combustion de la houille, et surtout les explosions de gaz inflammable. On a donc essayé de construire des appareils qui permissent de pénétrer dans les galeries infectées, et d'y porter de la lumière, pour aller secourir les mineurs qui ont été victimes de semblables accidents. L'administration des mines a publié à ce sujet une instruction pratique qui est imprimée dans le t. X des *Annales des Mines*, 1re série.

Tube respiratoire. — Lorsque les ouvriers asphyxiés se trouvent à une petite distance du jour ou d'un point de la mine où l'air est respirable, on peut pénétrer jusqu'à eux à l'aide d'un simple tube respiratoire qui consiste en un boyau de toile ou de cuir, *fig.* 3, *Pl. XXVII*, maintenu ouvert par un fil de fer contourné en spirale placé dans son intérieur. Ce tube se termine à l'une de ses extrémités par une embouchure évasée, et à l'autre extrémité par un pavillon métallique A, ayant la forme convenable pour qu'il puisse s'appliquer sur la bouche. Des courroies en cuir et des boucles servent à attacher cette seconde extrémité du tube autour de la tête de l'individu qui va pénétrer dans la galerie infectée. Une petite valve très-légère *v* placée dans le col cylindrique qui prolonge le pavillon métallique et sert à le raccorder avec le tuyau, s'ouvre du côté de la bouche de l'individu, quand il aspire, et se ferme au contraire, lorsqu'il expire. L'air expiré s'écoule au dehors par un bout de tuyau branché sur le col du pavillon, et portant aussi une valve légère *v'* qui s'ouvre du dedans au dehors. L'ouvrier qui veut pénétrer dans la galerie infectée, applique sur sa bouche le pavillon que l'on fixe au moyen des courroies dont le tube est muni. Il place sur son nez une pincette qui comprime ses narines et fait qu'il ne peut respirer que par la bouche. Il avance dans la galerie infectée, tandis que d'autres ouvriers placés dans la galerie où l'air est pur, soutiennent la seconde extrémité du tube. L'ouvrier respire donc l'air pur qui lui arrive par le tube, en soulevant la valve. Avec un boyau de 2 centimètres de diamètre, on peut très-facilement arriver, et rester sans danger à une distance de 25 à 30 mètres du point où s'ouvre l'extrémité du tuyau. On pourrait même aller beaucoup plus loin en employant des boyaux d'un plus grand diamètre.

Le tube respiratoire peut être fort utile dans l'exploitation des carrières qui seraient sujettes à être infectées par des mofettes, dans le curage d'égoûts infects; il peut servir à secourir des ouvriers asphyxiés au fond d'un puits peu profond, dans des cuves de vendanges, etc. Il est rare d'ailleurs qu'on ait besoin d'emporter avec soi de la lumière, quand on n'a que des distances de 20 à 40 mètres à parcou-

rir, pour arriver au lieu où les secours doivent être portés. Il est inutile d'ajouter que le tube respiratoire peut être composé de plusieurs parties qui s'assemblent entre elles au moyen de viroles métalliques, à la manière des boyaux de pompes à incendie ou de pompes d'arrosage.

Réservoirs d'air en cuir.— Pour le cas où les ouvriers asphyxiés sont à une grande distance du jour, ou plutôt des galeries remplies d'air respirable, on a imaginé de faire usage de grands réservoirs en cuir que l'on remplit d'air atmosphérique au moyen d'un soufflet. Un tube respiratoire, disposé comme celui qui vient d'être décrit, est branché sur le réservoir. Un homme peut porter sur son dos, dans une hotte, un sac en cuir de 20 à 21 décimètres cubes de capacité; ce volume d'air suffit pour l'entretien de la respiration pendant 15 ou 16 minutes. On a pensé que l'air expiré pourrait servir à l'entretien de la combustion de la lampe portée par l'ouvrier. A cet effet, la lampe serait une lanterne fermée sur son contour, n'ayant qu'un orifice supérieur pour l'écoulement des gaz brûlés, et un orifice inférieur auquel s'adapterait l'extrémité d'un petit tube flexible branché sur l'appendice qui porte la valve v' du tube respiratoire. M. Boisse, directeur des mines de houille de Carmeaux (Tarn), a fait l'essai de semblables réservoirs d'air portatifs; il n'a pas pu parvenir à employer l'air expiré par l'ouvrier pour l'entretien de la combustion de la lampe.

L'usage des réservoirs d'air portatifs que nous venons de décrire présente beaucoup de difficultés. D'abord il est nécessaire, d'après les observations de M. Boisse, de puiser directement dans le réservoir l'air nécessaire à la combustion de la lampe, ce qui diminue d'autant la portion disponible pour la respiration. D'un autre côté l'ouvrier chargé du réservoir n'a plus ses mouvements libres, pour secourir les asphyxiés; il a même beaucoup de peine à circuler dans des galeries basses, étroites, et qui peuvent être encombrées par des éboulements. Enfin les sacs de cuir qui ne sont employés que bien rarement, se trouvent ordinairement détériorés, et ne gardent plus l'air, au moment où l'on veut s'en servir.

L'instruction pratique de 1824 indique encore de grands réservoirs en cuir d'une capacité de près d'un mètre cube, contenant assez d'air pour entretenir la respiration d'un homme pendant une heure entière; ces réservoirs sont placés sur des chariots et ne peuvent être transportés que dans les voies principales de roulage. Ils pourraient être utiles, dans les mines où les voies seraient généralement larges et bien entretenues. Il faudrait d'ailleurs donner au tube respi-

ratoire branché sur le réservoir une assez grande longueur et un diamètre de 3 à 3 1/2 centimètres, afin que l'ouvrier laissant son réservoir dans une galerie principale pût s'écarter au besoin jusqu'à une certaine distance. En définitive, il nous paraît que les grands réservoirs d'un mètre cube de capacité pourraient être utilisés mieux encore que les petits sacs portés à dos, dans les mines de houille où la puissance des couches a permis de tracer de larges galeries, par la raison qu'on pourrait envoyer deux hommes à la fois, dont l'un traînerait le chariot portant le réservoir et le second un autre chariot destiné à ramener les ouvriers asphyxiés. Le réservoir d'air serait suffisant pour entretenir la respiration des deux hommes pendant une demi-heure.

Réservoirs métalliques à air comprimé. — Au lieu de sacs en cuir remplis d'air à la pression atmosphérique, on peut avoir des réservoirs métalliques en tôle, d'une capacité beaucoup moindre et contenant de l'air comprimé. Ces réservoirs seraient munis de l'appareil ingénieux dont on a fait usage pour régler l'écoulement du gaz de l'éclairage que l'on comprimait aussi dans des vases métalliques. Dans une mine où les accidents d'asphyxie pourraient se renouveler assez fréquemment, nous n'hésiterions pas à conseiller l'usage de ce dernier moyen : nous pensons d'ailleurs que le réservoir devrait être placé sur un petit chariot approprié aux dimensions des galeries principales ; il serait trop lourd pour être porté à dos, il faudrait, comme accessoire de ces appareils, avoir une pompe de compression pour fouler l'air, et comme cette opération est assez longue, il serait nécessaire d'avoir des vases chargés d'avance et tout prêts à servir. Nous avons vu des vases en tôle d'un hectolitre de capacité environ, qui ont été employés par l'ancienne compagnie du gaz portatif comprimé, et qui tenaient pendant plusieurs mois le gaz comprimé sous 8 ou 10 atmosphères. L'appareil qui sert à régler l'écoulement du gaz, consiste essentiellement dans une petite capacité de forme cylindrique adaptée sur le réservoir, et communiquant avec celui-ci par un très-petit orifice. Elle est fermée latéralement par un cuir flexible et plissé comme l'enveloppe des soufflets cylindriques en cuir ; elle est limitée en dessus par un large disque en plomb ou autre métal lourd dont le poids doit être convenablement réglé ; une pointe conique est placée dans l'intérieur de cette capacité ; elle est liée par une combinaison de petits leviers au disque de plomb, de manière à s'enfoncer dans le petit orifice d'écoulement du gaz, et à rétrécir par conséquent cet orifice, à mesure que le disque est soulevé par la pression du gaz. Le tuyau d'émission du gaz ou de l'air est d'ailleurs

branché sur la capacité dont nous parlons. Il résulte de cette disposition que la pression du gaz, dans l'intérieur de la capacité, ne peut pas dépasser celle qui correspond au poids du disque de plomb, et à l'élasticité du cuir qui forme les parois latérales, sans que le petit orifice par lequel le gaz passe du réservoir dans la capacité de distribution soit entièrement fermé par la pointe conique, qui pénètre dans son intérieur. D'un autre côté, dès que la pression diminue dans la capacité, le disque de plomb s'abaisse un peu et la pointe conique débouche l'orifice. De cette façon le gaz se maintient toujours à la même pression dans l'intérieur de la capacité sur laquelle est branché le tuyau d'émission, quelle que soit la pression dans l'intérieur du réservoir d'air comprimé. L'action du poids du disque peut être remplacée par celle d'un ressort.

Emploi des solutions alcalines, ou de l'eau pour absorber l'acide carbonique. — Lorsque l'air est irrespirable, uniquement parce qu'il est chargé de gaz acide carbonique (et c'est le cas le plus ordinaire dans les mines), on peut, dans des cas d'urgence, essayer d'arriver jusqu'aux ouvriers asphyxiés, en jetant dans les galeries un lait de chaux vive, qui absorbera l'acide carbonique. Il est convenable d'avoir dans ces occasions des linges, ou mieux encore des morceaux de tissus lâches en laine, fortement imprégnés d'eau pure, et de faire passer l'air qu'on respire à travers ces tissus, en les appliquant sur la bouche et le nez. Il est inutile de dire que l'on doit agir avec la plus grande prudence, et en prenant toutes les précautions possibles, afin de ne pas occasionner de nouveaux malheurs.

Appareil respiratoire de Roberts. — *J.* Roberts, l'auteur de la lampe à enveloppe de cristal que nous avons décrite, rapporte que s'étant trouvé une fois près d'être suffoqué par le gaz acide carbonique, il se préserva, en couvrant sa figure avec sa veste mouillée d'eau. Cela lui donna l'idée de construire un appareil respiratoire, qui a été employé par lui et par plusieurs autres personnes. Il consiste en une boîte, dont la capacité est d'environ *trois quarts*, contenant une éponge fortement imbibée d'eau de chaux, ou d'une autre solution alcaline. La paroi de cette boîte est percée de trous par lesquels entre l'air ambiant, qui est ainsi forcé de passer à travers l'éponge. Un tube respiratoire semblable à ceux qui sont décrits dans l'instruction de 1824, muni de deux valves, pour que l'air expiré soit rejeté au dehors, est adapté à la partie supérieure de la boîte, et conduit l'air à la bouche de l'ouvrier qui porte l'appareil suspendu en bandoulière. Sa figure peut être, si l'on veut, couverte d'un masque complet, tenant au tube, pour prévenir l'accès de l'air

irrespirable, qui n'aurait pas été épuré en passant à travers l'éponge. (*Reports on accidents in Mines*, p. 261.)

Cet appareil me paraît, en raison de sa simplicité, de nature à être employé utilement dans beaucoup de cas. Il serait à désirer qu'on en fît construire quelques-uns, sur des mines où se dégagerait beaucoup d'acide carbonique, et qu'on s'assurât d'avance si un ouvrier peut respirer longtemps sans fatigue, à travers l'éponge imbibée de Roberts.

FIN DU TOME DEUXIÈME.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE DEUXIÈME VOLUME.

CHAPITRE VI.

CREUSEMENT, BOISAGE, CUVELAGE ET MURAILLEMENT DES PUITS.

Pages.

Foncement des puits verticaux, dans les roches dures. 1
Réservoirs latéraux pour recevoir les eaux des parties supérieures des puits. 2
Exemples de puits dans le terrain houiller. 3
Revêtement des puits. — Boisage, — boisage des puits circulaires peu profonds et d'un petit diamètre. 6
Boisage des puits rectangulaires. 6
Orientation des puits rectangulaires dans les terrains stratifiés, à couches inclinées, par rapport à la direction des couches. 8
Boisage des puits inclinés. 9
Cloisons établies pour la circulation de l'air. 9

Cuvelage des puits verticaux creusés dans des terrains consistants.

Condition nécessaire pour qu'un cuvelage contienne les eaux. — Moyens de joindre les assises fondamentales du cuvelage à la roche. 11
Description du terrain aquifère supérieur au terrain houiller, dans le département du Nord. 12
Exécution des cuvelages en bois dans le département du Nord et le Hainaut. 12
Cuvelages en fonte. 20
Calcul de l'épaisseur à donner aux cadres d'un cuvelage polygonal. 25
Cuvelages en bois renforcés par des armatures en fonte. 26
Réparations des cuvelages. 27

Pages.

Creusement des puits boisés dans les terrains très-ébouleux, tels que les marnes ou argiles coulantes et les sables semi-fluides.

Exemples dans le district de Tarnowitz en Silésie. 28
Creusement dans les terrains coulants voisins de la surface du sol. 32
Machine à air comprimé de M. Triger. 35
Puits creusés par enfoncement d'un tubage en fonte dans le terrain. 38
Tours en maçonnerie enfoncées dans les terrains semi-fluides. 39
Creusement des puits dans des couches de sables coulants, situées à des profondeurs quelconques. 44
Écoulement des eaux affluentes, par un trou de sonde, au moyen d'un siphon. — Creusement dans des terrains tout-à-fait coulants. 46
Difficultés occasionnées par la nécessité d'épuiser les eaux. — Emploi possible du sas à air de M. Triger. 47

Muraillement des puits.

Matériaux dont on fait usage pour le muraillement des puits. 48
Revêtements en maçonnerie et corrois d'argile près de l'orifice. 48
Arceaux fondamentaux établis à la base d'un muraillement. — Voûtes renversées établies au fond de puits creusés dans un terrain résistant. 50 et 51
Construction des muraillements par parties successives assises sur des cadres ou rouets en charpente. 51
Suspension des rouets à des rouets supérieurs ou à des poutres posées à la surface. 55
Des cuvelages en maçonnerie. 56
Muraillements en pierre. — Arceaux en maçonnerie. 57
Muraillements des puits inclinés. 57
Dispositions à prendre à l'entrée des galeries de service, et places de chargement ou d'accrochage. 58
Disposition des places d'accrochage dans les houillères du Nord. 59
Places d'accrochage dans les puits boisés. 61
Puisards et réservoirs. 61

Serrements, ou digues destinées à contenir les eaux.

Serrements droits reposant dans des entailles perpendiculaires à l'axe des galeries. 65
Serrements droits à plans d'assises obliques. 66
Serrements busqués. 67
Serrements sphériques ou à coins. 67
Essais de l'application du calcul à la détermination de l'épaisseur à donner aux serrements sphériques. 73

Pages.
Calcul de l'épaisseur d'un serrement droit dont deux plans d'assises sont obliques à l'axe de la galerie. 78
Calcul de l'épaisseur d'un serrement droit appuyé sur des plans normaux à l'axe de la galerie. 79
Serrements horizontaux ou plates cuves. 80
Plates cuves en briques du département du Nord. 81

CHAPITRE VII.

MÉTHODES D'EXPLOITATION, OU ENSEMBLE DES TRAVAUX SOUTERRAINS D'UNE MINE.

Conditions générales auxquelles doit satisfaire un système d'exploitation. 84
Division des gîtes en deux classes, d'après la quantité de matières stériles que l'on peut laisser en remblai. 85
Gîtes peu puissants, et où les matières sont en quantité suffisante pour soutenir les parois des excavations. — Filons du comté de Cornwal. 86
Adjudication des travaux au rabais. 89
Mines des environs de Freyberg. Ouvrages montants, ou à gradins renversés. 90
Ouvrages à gradins droits. 91
Gîtes peu inclinés. 92
Exemples de l'exploitation des schistes cuivreux du pays de Mansfeld. 92
Exploitation de la houille dans le département du Nord et le Hainaut. 94
Exploitation par grandes tailles et par compartiments. 96
La division en compartiments peut être combinée avec tous les systèmes d'exploitation. 97
Toutes les méthodes précédentes peuvent être comprises sous la dénomination générale d'exploitations par grandes tailles, couchées dans le plan du gîte et remblayées à mesure. 98
Carrières de pierre à bâtir des environs de Paris. 98
Houillères de Deebank dans le Flintshire. 99
Ordre dans lequel on exploite les massifs dans un gîte incliné. 101
Dans le cas de plusieurs gîtes parallèles et rapprochés, on exploite d'abord les gîtes supérieurs. 101
Exemples du prix de l'abattage dans les exploitations de la houille par grandes tailles. 102
Exploitation des gîtes d'une grande puissance, Méthode *en travers*. 102
Exploitations par grandes tailles transversales. 105
Si les tailles n'étaient pas à peu près complétement remblayées, on pourrait procéder par étages successifs pris en descendant. 106
Exploitation, par étages successifs, des gîtes puissants et peu inclinés. — Les tailles ne sont plus transversales. 107

Pages.

Gîtes dans lesquels les matières stériles ne sont pas en assez grande quantité pour opérer un remblai capable de soutenir les excavations. 107

1° *Exploitation par massifs ou piliers longs qui ne sont pas abandonnés.*

L'exploitation a deux époques : les chantiers ou galeries préparatoires ; le dépilage. 108
Exploitation de la couche de houille dite du Sagnat à Roche-la-Molière (Loire). — Remblais partiels. 109
Première époque de l'exploitation. — Établissement des chantiers en tailles. 109
Deuxième époque de l'exploitation. — Dépilage. 111
Exploitation de la mine du Treuil. 112
Mine de houille de Gerhard, près Saarbrücken. 112
Exploitation des couches de houille très-inclinées. 114
Exploitation dans la Haute-Silésie. 117
Travaux destinés à atteindre les couches (*Ausrichtung des Flötze*). 118
Préparation du champ d'exploitation (*Vorrichtung des Kohlenfeldes*). 118
Exécution des galeries et tailles. 121
Boisage. 123
Dépilage ou exploitation proprement dite (*Pfeiler Abbau*). 124
Boisage des excavations pendant le dépilage. 125
Enlèvement des bois d'étais et de la houille restée au toit. — Éboulement du toit (*Das Rauben*). 126
Application de la même méthode aux couches de la Basse-Silésie. 127
Consommation de bois dans les mines de houille de la Silésie. — Travail journalier des ouvriers piqueurs. — Poudre consommée. — Exploitation de la houille à Blauzy. 130
Exploitation de la houille dans le nord de l'Angleterre. 152
Exploitation des gîtes puissants et très-inclinés par étages successifs en descendant. 134
Exploitation de l'anthracite de la Mure. 135

2° *Exploitation par piliers carrés abandonnés en grande partie dans l'excavation.*

Gîtes qu'il convient d'exploiter sur piliers carrés abandonnés. 136
Exploitation du sel gemme dans les environs de Northwich (comté de Chester). 137
Exploitation du sel gemme à Dieuze (Meurthe). 137
Exploitation des bancs de pierre à plâtre des environs de Paris. 138
Carrières d'ardoises des environs de Fumay et Rimogne (Ardennes). 140
Exploitation des couches de houille puissantes par piliers carrés. — Impossibilité d'exploiter les couches de houille puis-

Pages.

santes et très-inclinées par piliers carrés abandonnés. 143
Exploitation de la couche dite *Ten yards coal*, près de Dudley. 144
Méthode d'exploitation du sel gemme par chambres de dissolution. 147
Exploitation du sel gemme par puits forés. 149

3° *Exploitation avec remblais rapportés, ou piliers de soutenement construits avec des matériaux venant de l'extérieur.*

Gîtes auxquels ce mode d'exploitation peut être appliqué. 151
Mine de mercure d'Almaden. 152
Couches de houille exploitées par remblais rapportés. — Couche du Creusot. 153
Frais de remblais exécutés dans les mines de houille de Decazeville et du Creusot. 156
Convient-il d'exploiter par étages successifs, pris en montant ou en descendant, les couches de houille puissantes et très-inclinées? 158

4° *Méthode par éboulement.*

Dans quel cas ce mode d'exploitation est applicable. 160
Exploitation du minerai dans de vieux travaux éboulés. 160
Exploitation des schistes alumineux de la vallée de la Meuse. 161
Mode d'exploitation qui était autrefois pratiqué à Rive-de-Gier. 162
Mode de dépilage suivi autrefois à Saint-Etienne. 164

CHAPITRE VIII.

AÉRAGE DES MINES.

Causes qui contribuent à vicier l'air dans les mines. 165
Moyens simples de s'assurer si l'air des excavations est irrespirable ou explosif. 176
Insuffisance des agents chimiques pour détruire les gaz méphitiques dans les mines. 178
Nécessité d'un aérage actif et continu. 178
Propriétés générales et lois du mouvement des fluides aériformes. 179
Équation du mouvement des fluides dans des conduites dont l'axe n'est pas contenu dans un plan horizontal. 197
Équation approchée du mouvement d'un fluide dans le cas où sa température varie dans le parcours de la conduite. 203
Causes des courants d'air naturels dans les excavations souterraines. 209
Influences des émanations gazeuses sur la circulation de l'air. 215

Pages.

Moyens de déterminer un courant d'air continu dans les mines.

Aérage naturel.— Excavations à une seule ouverture; puits et galeries en creusement. 216
Cloisons établies dans les puits ou galeries, pour faciliter le renouvellement de l'air. 218
Caisses d'aérage. 219
Manches ouvertes du côté du vent ou à l'opposé du vent. 220
Excavations communiquant avec le jour par deux ou plusieurs ouvertures. 221
Portes destinées à ralentir la circulation de l'air dans certaines galeries. — Cheminées construites pour activer l'aérage naturel. 224
La température de l'air, dans les galeries des mines étendues, est généralement supérieure à celle des parois. 225
Aérage artificiel.— Des appareils employés pour déterminer la circulation de l'air dans les mines lorsque l'aérage naturel est insuffisant. — Foyers d'aérage. 226
Choix de l'emplacement du foyer d'aérage. 227
Disposition des foyers d'aérage et des puits de sortie de l'air échauffé. 228
Foyers d'aérage établis latéralement à la galerie principale dans une excavation spéciale. 229
Avantages des foyers établis dans des excavations spéciales. 229
Dispositions des foyers dans les mines de houille du nord de l'Angleterre. 230
Dispositions des foyers d'aérage à Anzin. 231
Influence de la température du courant d'air échauffé par les foyers d'aérage. 232
Influence de la profondeur du puits de sortie de l'air. 235
Cas dans lesquels il peut être utile de surmonter le puits d'aérage d'une cheminée. 236
Dispositions vicieuses des puits d'aérage.— Compartiments trop étroits. 236
Mauvaise installation des foyers d'aérage usités dans le Hainaut. 237
Consommation de combustible sur les foyers d'aérage. 238
Résultats d'observations faites sur la circulation d'air déterminée par l'action des foyers. 238
Observations de M. Glépin. 242
Machines propres à déterminer la circulation continue de l'air dans les mines. 254
Comparaison des machines d'aérage et des machines soufflantes employées dans les mines, sous le rapport des effets à produire. 255
Machine aspirante à pistons, de la houillère de l'Espérance. 255
Description des ventilateurs aspirants à force centrifuge. 261
Théorie mathématique de ces machines. 263
Appréciation des frottements. 271
Forme à donner aux ventilateurs destinés à aérer des mines d'une petite étendue ou des salles de réunion. 276
Expériences de M. Glépin sur les ventilateurs. 287
Effets comparés d'un foyer d'aérage et du ventilateur. 288

Pages.

Inconvénients de la fermeture hydraulique du ventilateur. —
Ventilateur double établi à Sauwarton par M. Glépin. 291
Ventilateurs à ailes planes. — Vis aspirantes ou soufflantes. 293
Trompes. 294
Effet utile des trompes. 296
Moyen employé accidentellement en Angleterre pour renouveler l'air, dans une mine infectée et inaccessible. 296
Ventilateurs du Hartz. 297
Aspiration déterminée par des jets de vapeur d'eau. 298

Distribution et conduite de l'air dans l'intérieur des mines.

Division du courant d'air en plusieurs branches. 298
Avantages de la division du courant d'air. 300
Postes d'aérage. 303
Exemples divers de distribution d'air dans les mines. 305
Précautions à prendre dans les mines où il se dégage du gaz inflammable. 310
Variations dans la quantité de gaz qui se dégage. — Influence des variations de pression atmosphérique. 51
Irruptions subites de gaz inflammable. 312
Soins journaliers qui sont nécessaires dans les mines à grisou. 312
Effets des explosions de gaz inflammable. 312
Utilité de donner une grande section aux voies de sortie de l'air. 314
Moyens de rentrer dans une mine à la suite d'une explosion de gaz inflammable. — Portes de sauvetage. 315
Dangers qu'offrent les puits divisés par des cloisons, dans les mines à grisou. 317
Utilité des échelles pour la sortie des ouvriers en cas d'accident. 318
Les foyers d'aérage doivent-ils être prohibés dans les mines à grisou? 318
De la disposition la plus convenable des puits, sous le rapport de l'aérage. 324
Moyens d'apprécier le volume du courant d'air qui circule dans les mines. 327
Anémomètre à ailettes pour jauger les courants d'air. 327
Relation entre le nombre de tours de l'axe des ailes, et la vitesse du courant d'air. 329
Détermination des coefficients *a* et *b* qui se rapportent à l'emploi de l'anémomètre à ailettes. 331
Jaugeage des courants d'air. 332

Des incendies dans les mines de houille.

Causes des incendies. 333
Le remblai des excavations est le seul moyen assuré de prévenir les incendies. — Précautions à prendre dans l'exploitation par chantiers et dépilage. 333 et 334
— Établissement de barrages pour limiter et étouffer les incendies. 334

Pages.

—Inondation des mines incendiées. 335
Récapitulation des mesures à prendre pour prévenir ou pour combattre les incendies. 336
Incendies spontanés des dépôts de houille. — Moyens de les prévenir. 337

Éclairage des mines.

Mode d'éclairage. 338
— Éclairage des mines à grisou. — Lampe de sûreté de Davy. 339
Expériences de M. Bischoff sur les lampes à treillis métalliques. 341
Nouvelles lampes de sûreté. — Lampe d'Upton et Roberts. 344
Lampe de M. E. Dumesnil. 345
Essais faits à Liége par une commission d'ingénieurs. 346
Lampe de M. Mueseler. 348
Essais faits en France sur les lampes de MM. Dumesnil et Mueseler. — Essai de construction d'une lampe qui réunisse les avantages particuliers aux divers systèmes ci-dessus. 350
Avantages des lampes à enveloppes en cristal. 352
Lampes fixées à réservoir d'huile latérales et à réflecteur. 352
Moyens de porter secours aux ouvriers asphyxiés. — Tube respiratoire. 352
Réservoir d'air en cuir. 353
Réservoirs métalliques à air comprimé. 354
Emploi des solutions alcalines, ou de l'eau, pour absorber l'acide carbonique. 356
Appareil respiratoire de Roberts. 356

FIN DE LA TABLE DU TOME DEUXIÈME.